



Universidade Nova de Lisboa
Faculdade de Ciências e Tecnologia

Mestrado em Engenharia dos Materiais

IMPLEMENTAÇÃO DA NORMA ASTM E2352 PARA UMA SALA LIMPA CLASSE 8.5



António Alexandre Barros da Silva (26456)

ORIENTADOR: PROF. DR. Alexandre Velhinho

ORIENTADOR EXTERNO: ENG.º José Levezinho

INSTITUIÇÃO: OGMA, SA – Indústria Aeronáutica de Portugal, SA.

Agradecimentos

A realização deste estágio de mestrado e da consequente tese que se apresenta, não seria possível sem a preciosa colaboração de certas pessoas e entidades que, de alguma forma, se viram directamente ou indirectamente envolvidas.

Por isso, agradeço a preciosa colaboração prestada pelo orientador interno, Prof. Dr. Alexandre Velhinho da secção de metalurgia do *Departamento de Ciências dos Materiais* da *Faculdade de Ciências e Tecnologia* da *Universidade Nova de Lisboa*, que me proporcionou todos os elementos necessários para lidar com os materiais compósitos.

Agradeço, igualmente, à empresa *OGMA – Indústria Aeronáutica de Portugal, S.A.* por me ter acolhido como estagiário e ter fornecido toda a ajuda requerida. Dentro da empresa, destaco particularmente, por toda a atenção e apoio fornecido, o Eng.º José Levezinho, na qualidade de orientador externo, e ao Eng.º Alberto Silva ambos da secção *EPF – Engenharia do Produto e Fabricação*.

Um especial agradecimento para todos os engenheiros e técnicos da OGMA, que de uma forma ou de outra se encontraram envolvidos neste projecto e sem os quais este não seria possível.

A toda a minha família e amigos que me apoiaram e incentivaram, a todos um especial bem hajam.

Simbologia

%	Porcentagem
μm	Mícron
A	Área
C	Concentração limite da classe
C_n	Concentração máxima
D	Tamanho de partícula considerado
H	Hora
GPa	Giga pascal
HF	Alta frequência
km	Quilômetro
l	Litros
m^2	Metro quadrado
m^3	Metro cúbico
mbar	Milibar
Min	Mínimo
MPa	Mega pascal
N	Número de classe /ISO
N_L	Número mínimo de amostras
Pa	Pascal
T_{amb}	Temperatura ambiente
V	Volume de amostra
VHF	Frequência muito alta
UHF	Frequência ultra alta

Siglas e Abreviaturas

ASTM	American Society for Testing and Materials
AQAP	Allied Quality Assurance Procedure
CNC	Coordinate Numeric Control
EADS	European Aeronautic Defence and Space Company
EASA	European Aviation Safety Agency
EPF	Engenharia de Produção e Fabricos
FAR	Federal Acquisition Regulation
FCO	Fabrico de Compósitos
HACCP	Hazard Analysis and Critical Control Points
IENT	Institute of Environmental Sciences and technology
ISO	International Standard Organization
NADCAP	National Aerospace and Defense Contractors Accreditation Program
OEM	Original Equipment Manufacturer
OGMA	Oficinas Gerais de Material Aeronáutico
ONS	OGMA Normative System
RP	Recommended Practice
UTA	Unidade de Tratamento de Ar

ÍNDICE GERAL

1.	OBJECTIVO	8
2.	A EMPRESA.....	10
2.1	HISTORIAL	10
2.2	LOCALIZAÇÃO E INSTALAÇÕES	10
2.3	ACREDITAÇÕES E CERTIFICAÇÕES	12
3.	NADCAP.....	14
3.1	QUAIS AS VANTAGENS DA ACREDITAÇÃO?.....	14
4.	NORMA ASTM 2352E.....	16
4.1	SISTEMA DE FUNCIONAMENTO	18
4.1.1	ETAPA 1: IDENTIFICAÇÃO DAS FONTES E ROTAS DA CONTAMINAÇÃO.....	18
4.1.1.1	FONTES DE CONTAMINAÇÃO	18
4.1.1.2	ROTAS DE TRANSFERÊNCIA POR VIA AÉREA OU POR CONTACTO	19
4.1.1.3	CONSTRUÇÃO DE UM DIAGRAMA DE RISCO	20
4.1.2	ETAPA 2: AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS PERIGOS.....	21
4.1.3	ETAPA 3: IDENTIFICAÇÃO DE MÉTODOS PARA CONTROLAR PERIGOS.....	24
4.1.4	ETAPA 4: AMOSTRAGEM PARA MONITORIZAÇÃO E CONTROLO DE PERIGOS	25
4.1.5	ETAPA 5: PROGRAMAÇÃO DA MONITORIZAÇÃO	26
4.1.6	ETAPA 6: DOCUMENTAÇÃO	26
4.1.7	ETAPA 7: FORMAÇÃO DE OPERADORES.....	26
4.2	VESTUÁRIO DE SALA LIMPA.....	28
4.2.1	FONTES E ROTAS DA DISPERSÃO DE PARTÍCULAS INERTES	28
4.2.1.1	PELE	29
4.2.1.2	ROUPA PRÓPRIA USADA DEBAIXO DO VESTUÁRIO DA SALA LIMPA.....	30
4.2.1.3	VESTUÁRIO DA SALA LIMPA	30
4.2.1.3.1	ROTAS DE TRANSFERÊNCIA DE PARTÍCULAS	31
4.2.1.4	BOCA E NARIZ	32
4.2.2	TIPOS DE VESTUÁRIO DE SALA LIMPA	33
4.2.2.1	MALHA DO TECIDO	33
4.2.2.2	CONSTRUÇÃO DO VESTUÁRIO	34
4.2.2.3	ESCOLHA DE VESTUÁRIOS.....	35
4.2.2.4	CONFORTO	35
4.2.3	LUVAS	36
4.2.3.1	TESTE DAS LUVAS	36
4.2.4	ARMAZENAMENTO DE VESTUÁRIO	37
4.3	OPERADORES	38
4.3.1	ACESSO A SALAS LIMPAS	38
4.3.2	ARTIGOS PESSOAIS PROIBIDOS NA SALA LIMPA	40

4.3.3	CONDUTA DENTRO DA SALA LIMPA.....	40
4.3.3.1	TRANSFERÊNCIAS DE AR	40
4.3.3.2	COMPORTAMENTO DOS OPERADORES.....	41
4.3.4	PROCEDIMENTOS DE ENTRADA E SAÍDA	42
4.3.4.1	NA ZONA PRÉVIA À ANTECÂMARA	43
4.3.4.2	ANTECÂMARA	44
4.3.5	PESSOAL OCASIONAL	45
4.4	EQUIPAMENTO ESTACIONÁRIO	47
4.5	MATERIAIS E EQUIPAMENTO PORTÁTIL.....	48
4.5.1	TRANSFERÊNCIA DE ARTIGOS ATRAVÉS DA ANTECÂMARA	49
4.5.1.1	PROCEDIMENTO DE TRANSFERÊNCIA.....	50
4.6	CONDIÇÕES DE OPERACIONALIDADE DA SALA LIMPA.....	52
4.6.1	FLUXO DE AR	52
4.6.2	CONTROLO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS	53
4.6.2.1	PRESSÃO.....	53
4.6.2.2	HUMIDADE E TEMPERATURA	53
4.6.2.3	CONDIÇÕES AMBIENTAIS DA SALA LIMPA DA OGMA, SA	54
4.6.3.2	CONTAGEM DE PARTÍCULAS EM ESTADOS DE OCUPAÇÃO DIFERENTES	60
4.6.3.3	MEDIÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE PARTÍCULAS.....	61
4.6.3.3.1	NÚMERO DE POSIÇÕES PARA AMOSTRA	62
4.6.3.3.2	VOLUME DE AMOSTRAGEM	62
4.6.3.3.3	CRITÉRIOS DE ACEITAÇÃO.....	63
4.6.3.4	APLICAÇÃO DO MÉTODO DE TESTE À SALA LIMPA DA OGMA.....	63
4.6.3.4.1	NÚMERO DE POSIÇÕES.....	63
4.6.3.4.2	VOLUME DE AMOSTRAGEM MÍNIMO DE AR	64
4.6.3.4.3	RESULTADOS DA AMOSTRAGEM.....	64
4.7	LIMPEZA DA SALA LIMPA.....	67
4.7.1	MÉTODOS DE LIMPEZA E A FÍSICA DE LIMPEZA DE SUPERFÍCIES	67
4.7.1.1	ASPIRAÇÃO	68
4.7.1.2	LAVAGEM.....	69
4.7.1.3	SISTEMAS DE ASPIRAÇÃO A SECO OU HÚMIDA	70
4.7.1.4	SISTEMAS DE LAVAGEM	70
4.7.1.5	SISTEMAS DE ESFREGA AUTOMÁTICA DE PAVIMENTOS	72
4.7.2	LÍQUIDOS DE LIMPEZA	72
4.7.3	COMO DEVE A SALA LIMPA SER LIMPA?	73
4.7.3.1	MÉTODOS DE LIMPEZA	74
4.7.3.2	REQUISITOS DE LIMPEZA, NORMAS ASTM E EMBRAER.....	75
5.	CONCLUSÕES.....	78
6.	REFERÊNCIAS	80

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 – NOVA MARCA OGMA.	10
FIGURA 2 – FOTO AÉREA DAS INSTALAÇÕES DA OGMA.	11
FIGURA 3 – PLANTA DA EMPRESA E LOCALIZAÇÃO ACTUAL DA ÁREA DOS COMPÓSITOS	11
FIGURA 4 – PLANTA ACTUAL DA SECÇÃO DOS COMPÓSITOS.	12
FIGURA 5 – FONTES E ROTAS DE CONTAMINAÇÃO DE PARTÍCULAS E MEDIDAS PREVENTIVAS.	20
FIGURA 6 – FONTES E ROTAS PARA CONTROLO ASSOCIADOS AO PROCESSO DE MANUFACTURA.	21
FIGURA 7 – FONTES E ROTAS DE PARTÍCULAS INERTES CONTAMINANTES.....	29
FIGURA 8 – SECÇÃO DE CORTE DA PELE HUMANA.....	29
FIGURA 9 – FOTOGRAFIA AMPLIADA POR MICROSCÓPIO 100X DE UM TECIDO DE ALGODÃO	30
FIGURA 10 – TECIDO SINTÉTICO COM ENTRELAÇAMENTO COMPACTO	31
FIGURA 11 – PARTÍCULAS EMITIDAS DURANTE UM ESPIRRO.....	32
FIGURA 12 – CONJUNTO DE VESTUÁRIOS TIPOS PARA SALAS LIMPAS.....	33
FIGURA 13 – FABRICO DE MALHA TÍPICO DA SALA LIMPA.....	34
FIGURA 14 – PORTAS DAS ANTECÂMARAS NÃO DEVEM SER DEIXADAS ABERTAS.....	41
FIGURA 15 – MOLA AÉREA HIDRÁULICA COM BRAÇO NORMAL	41
FIGURA 16 – OPERADOR A CONVERSAR E MAL POSICIONADO SOBRE O MOLDE.....	42
FIGURA 17 – TAPETE DE LIMPEZA DE CALÇADO DA ENTRADA.....	43
FIGURA 18 – ARMÁRIO PARA PENDURAR A SUA ROUPA E CACIFO PARA ARMAZENAR BENS PESSOAIS.	43
FIGURA 19 – ARMÁRIOS DA ANTECÂMARA PARA PENDURAR A BATA DOS OPERADORES.....	44
FIGURA 20 – AVISO COLOCADO NAS ANTECÂMARAS	44
FIGURA 21 – LUVAS PARA A DRAPAGEM DE TECIDOS PRÉ-IMPREGNADOS.....	45
FIGURA 22 – DOCUMENTOS TÉCNICOS PLASTIFICADOS.	46
FIGURA 23 – ESTA BANCADA DE TRABALHO EM MADEIRA FOI REVESTIDA A FIBRA DE VIDRO	49
FIGURA 24 – CARRINHOS DE TRANSPORTE DE MATERIAIS.	51
FIGURA 25 – POSICIONAMENTO CORRECTO DO MOLDE E DO OPERADOR PERANTE O MOLDE	52
FIGURA 26 – TERMOHIGRÓGRAFO DIGITAL YOKOGAWA.....	54
FIGURA 27 – CONDIÇÕES AMBIENTAIS DA SALA LIMPA AO LONGO DE UM PERÍODO DE TRABALHO SEMANAL.....	55
FIGURA 28 – VARIAÇÃO DA TEMPERATURA AO LONGO DE UM PERÍODO DE TRABALHO SEMANAL	55
FIGURA 29 – VARIAÇÃO DA PRESSÃO DA SALA LIMPA AO LONGO DE UM PERÍODO DE TRABALHO SEMANAL	56
FIGURA 30 – COMPUTADOR PARA IMPUTAÇÃO DE TRABALHO NO SISTEMA.....	57
FIGURA 31 – VARIAÇÃO DA HUMIDADE RELATIVA AO LONGO DE UM PERÍODO DE TRABALHO SEMANAL.....	57
FIGURA 32 – EQUIPAMENTO DE ENSAIOS MECÂNICOS.....	58
FIGURA 33 – CONTADOR DE PARTÍCULAS DA OGMA.....	60
FIGURA 34 – GRÁFICO COMPARATIVO DAS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS ANTES E APÓS A REGULAMENTAÇÃO....	65
FIGURA 35 – EFICIÊNCIA DA ASPIRAÇÃO A SECO	68
FIGURA 36 – SISTEMA DE LAVAGEM POR 3 RECIPIENTES	71
FIGURA 37 – DIAGRAMA DE USO DO SISTEMA DE LAVAGEM POR 3 RECIPIENTES.....	72
FIGURA 38 – EQUIPAMENTO AUTOMÁTICO DA EMPRESA DE LIMPEZA.	72

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 – LISTA DE PEÇAS EM FABRICO NO ÂMBITO DOS MATERIAIS COMPÓSITOS	15
TABELA 2 – FACTORES DE RISCO PARA AVALIAÇÃO DE PERIGOS	22
TABELA 3 – AVALIAÇÃO DE RISCOS	24
TABELA 4 – MÉTODOS DE MONITORIZAÇÃO E CONTROLO DAS FONTES E ROTAS DE TRANSFERÊNCIA.	25
TABELA 5 – PARTÍCULAS INERTES EMITIDAS POR PESSOA.....	32
TABELA 6 – VESTUÁRIO E FREQUÊNCIA DE LIMPEZA PARA CLASSES ISO.	35
TABELA 7 – PARTÍCULAS GERADAS POR ACTIVIDADE DOS OPERADORES	41
TABELA 8 – REQUISITOS AMBIENTAIS DOS CLIENTES E NORMA <i>ASTM E2352</i>	53
TABELA 9 – CONDIÇÕES AMBIENTAIS DA SALA LIMPA	54
TABELA 10 – REQUISITOS DA ESPECIFICAÇÃO DE REFERÊNCIA AO MATERIAL PRÉ-IMPREGNADO.....	59
TABELA 11 – RESULTADOS DOS ENSAIOS MECÂNICOS	59
TABELA 12 – CLASSES E CONCENTRAÇÃO DE PARTÍCULAS POR TAMANHO DE PARTÍCULA.....	61
TABELA 13 – NÚMERO MÁXIMO DE PARTÍCULAS POR LITRO NA SALA LIMPA	64
TABELA 14 – COMPARAÇÃO DE CONCENTRAÇÕES OBTIDAS COM OS LIMITES DA ISO 8.5	65
TABELA 15 – FREQUÊNCIA, MÉTODO E LOCAIS DE LIMPEZA SEGUNDO ESPECIFICAÇÕES REQUERIDAS.....	76

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1 - FORMAÇÃO PARA A ÁREA DOS COMPÓSITOS DA OGMA, SA	82
ANEXO 2 – CONTAGEM DE PARTÍCULAS ANTES DA REGULAMENTAÇÃO.	83
ANEXO 3 – CONTAGEM DE PARTÍCULAS APÓS REGULAMENTAÇÃO.	83
ANEXO 4 – REDUÇÃO APÓS REGULAMENTAÇÃO.....	83
ANEXO 5 – REGISTO DO TERMOHIGRÓGRAFO.....	84
ANEXO 6 – REGISTO DE ENSAIOS DE TRACÇÃO.....	85
ANEXO 7 – REGISTO DE ENSAIOS DE COMPRESSÃO À TEMPERATURA AMBIENTE.	85
ANEXO 8 – REGISTO DE ENSAIOS DE COMPRESSÃO A 71°C.....	86
ANEXO 9 – REGISTO DO CONTROLO DE PARTÍCULAS SÓLIDAS NA SALA LIMPA.....	87
ANEXO 10 – REGISTO DE LIMPEZA DA SALA LIMPA.	88
ANEXO 11 – REGISTO DE OCORRÊNCIAS.....	89

1. Objectivo

A realização deste estágio de mestrado visa, sobretudo, o apoio à obtenção da acreditação *NADCAP* por parte da empresa *OGMA, SA*. Para essa acreditação, foi exigido a definição e regulamentação de uma classe *ISO* para a actual sala limpa da secção de fabricação em compósitos, *FCO*.

O grupo de trabalho *OGMA, SA* envolvido na obtenção da acreditação *NADCAP* definiu que a sala limpa deveria satisfazer os requisitos da norma para salas limpas recomendada pelos auditores externos *NADCAP*, norma *ASTM E2352*, para uma sala limpa classe *ISO 8.5*.

Assim, o estágio visou implementar e documentar, segundo os princípios internos de elaboração de documentos *OGMA, SA*, os requisitos definidos da norma *ASTM E2352* para uma sala limpa classe *ISO 8.5* e em concordância com as especificações dos clientes.

SUMMARY

The completion of this master is aimed to support and obtain NADCAP accreditation for the company, OGMA, SA. For this accreditation, was required to define and create rules for an ISO class for the current cleanroom in the composites manufacturing section, FCO.

The OGMA, SA workgroup involved in the NADCAP accreditation defined that the cleanroom should meet the standard for cleanrooms recommended by the NADCAP external auditors, ASTM E2352, to a cleanroom ISO class 8.5.

Thus, the period of training aimed to implement and register, according to internal principles of OGMA, SA document elaboration, the defined requirements of standard ASTM E2352 for a cleanroom class ISO 8.5 and in agreement with the customer's specifications.

2. A EMPRESA

A *OGMA – Indústria Aeronáutica de Portugal, S.A.*, é uma empresa colectiva de direito privado com o estatuto e objecto social definido pelos Decretos-lei 42/94 de 14 Fevereiro e 99/2004 de 3 Maio.



Figura 1 – Nova marca OGMA, S.A.

2.1 Historial

A *OGMA SA* tem como actividade principal, desde 1918, a manutenção de aeronaves e componentes estando o seu desenvolvimento intimamente ligado ao progresso da aeronáutica militar em Portugal. Dentro da sua actividade, a *OGMA, SA* prossegue uma missão de interesse económico geral, no âmbito da Defesa Nacional, de prossecução de objectivos essenciais e vitais para o desenvolvimento da Indústria Aeronáutica e a Segurança Nacional.

Em meados da década de 50, a *OGMA* iniciou a sua actividade de fabricação e de uma forma global empenhou-se na conquista de mercados estrangeiros, civis e militares. Para o efeito, reorganizou-se, implementou o seu Sistema de Qualidade e foi certificada por diversas organizações e fabricantes de aeronaves e seus componentes.

O ano de 2003 representou uma Nova Era na história da empresa quando o governo português decidiu privatizar 65% do seu capital ao grupo *Airholding* constituído em fracções diferentes pelos grupos aeronáuticos *Embraer* (70%) e *EADS* (30%). Foi o início de um esforço muito significativo no sentido de tornar a empresa mais competitiva à escala mundial, expandindo-se para novos mercados.

2.2 Localização e Instalações

A *OGMA, SA* está situada na cidade de Alverca, a 15 km ao norte de Lisboa, na margem direita do rio Tejo. Como acessos, possui uma pista de aterragem, com 3 km de comprimento, para aviões de qualquer tipo e torre de controlo equipada com

HF, VHF e UHF, um cais fluvial e é servida por estrada, auto-estrada e caminho-de-ferro.

A OGMA, SA tem uma área de implantação de 400.000 m², dispõe de uma área coberta de 139.000 m², 10 hangares de manutenção e 30.000 m² para a área de fabricação.



Figura 2 – Foto aérea das instalações da OGMA, SA.

Aos compósitos, secção FCO, corresponde uma área total de aproximadamente 5.200 m² mas já está prevista a sua ampliação para 6.600 m² (+26%) e a aquisição de duas novas autoclaves (uma com 4m de diâmetro e 10m de comprimento), que aumentará a capacidade de resposta actual e permitirá à empresa lançar-se em novos programas sem os constrangimentos da capacidade actual.

Acompanhando esta expansão de infra-estruturas, o número de empregados aumentará 50% no primeiro ano, passando de 100 para aproximadamente 150, estando previsto que ao final de 5 anos estejam a trabalhar nos compósitos 250 pessoas.

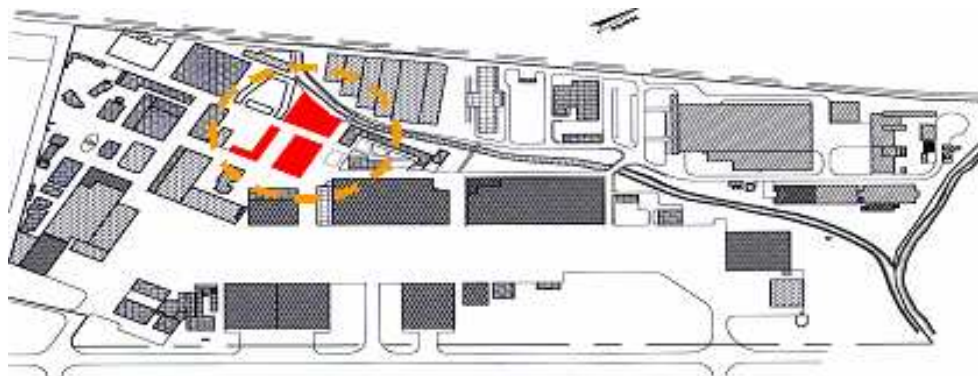


Figura 3 – Planta da empresa e localização actual da área dos compósitos

Da actual área de fabricação e reparação de componentes em compósito faz parte:

- 1 Sala limpa com 805 m² e equipada com 4 sistemas laser *Virtek* de suporte À moldagem de tecidos pré-impregnados;
- 1 Equipamento de ensaios não destrutivos, ultra-sons *C-Scan*;
- 3 Armazéns sendo dois deles refrigerados a -18°C;
- 1 Oficina de corte de tecidos pré-impregnados com equipamento CNC;
- 2 Oficinas de recorte/furação com equipamento CNC;
- 1 Área de polimerização equipada com 2 autoclaves e 1 prensa de pratos aquecidos;
- 1 Zona ventilada de preparação de moldes e desmoldagem de peças;
- 1 Oficina de montagens estruturais via colagem ou rebitagem;

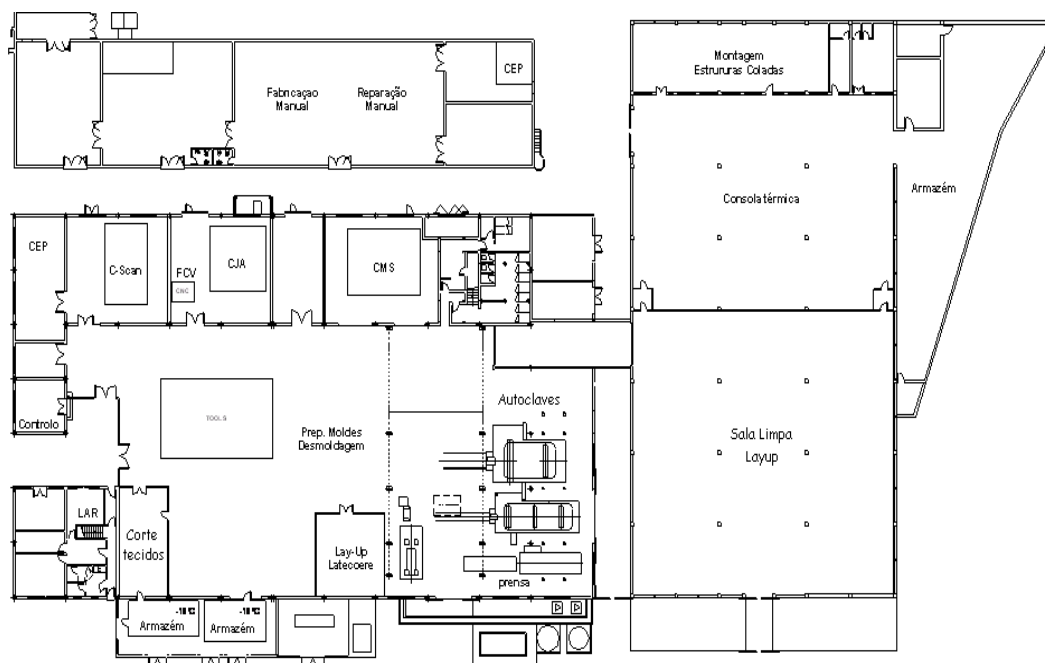


Figura 4 – Planta actual da secção dos compósitos, FCO.

2.3 Acreditações e certificações

A OGMA, SA é uma empresa qualificada no mercado da aviação tanto civil como militar, possuindo os certificados FAR 145 e EASA 145 Repair Station, AQAP 2110 e ISO 9001-2000 Quality Management.

Para além destas certificações, a empresa é ainda centro de manutenção autorizado para os produtos de diversos fabricantes OEM's, como sejam a Lockheed Martin, a Embraer, a Rolls-royce, a Turbomeca e outros.

Lista de certificações da OGMA, SA:

- *BUREAU VERITAS* – AS 9100 Certificate of Approval
- *IQNET* – Certificate ISO 9001:2000
- *INAC* – Certificado de Aprovação da Organização de Produção
- *APCER* – Conformity Certificate NP EN ISO 9001:2000
- *DMA* – AQAP Certificate
- *ANAC* – Certificado de Homologação de Empresa
- *EASA/INAC* – CAT Aircraft Maintenance Company (PART145)
- *FAA* – FAA Approved Repair Station
- *NATO - NAEW & CFC* – NATO E-3A Source of Repair Certificate
- *EASA* – Design Organisation Approval - EASA.21J.304
- *EMBRAER* – Embraer Approved Service Center
- *LOCKHEED-MARTIN* – Lockheed Hercules Service Center (C-130)
- *LOCKHEED-MARTIN* – Lockheed P-3 Orion Service Center
- *ROLLS-ROYCE* – AE Engine Authorized Maintenance Center
- *TURBOMECA* – Turmo III C4 / IV C Repair Center

Lista de creditações OGMA, SA

- *IPAC* – Certificado de Acreditação - Calibrações
- *IPAC* – Certificado de Acreditação - Ensaios

Encontra-se actualmente em desenvolvimento a acreditação *NADCAP* para as áreas dos *Processos Especiais* e dos *Compósitos*.

3. NADCAP

NADCAP - National Aerospace and Defense Contractors Accreditation Program é o programa cooperativo das principais companhias mundiais designadas para traçar um custo efectivo consensual aproximado a processos, produtos ou serviços e implementar melhorias contínuas nas indústrias aeroespaciais e automóvel.

A missão da *NADCAP* é fornecer avaliações de processos de manufactura e de produtos, imparciais e independentes, e serviços de certificação com a finalidade de proporcionar valor, redução de custos e facilitar relacionamentos no meio entre construtores e fornecedores. ^[1]

Após a obtenção da acreditação para o processo, produto ou serviço desejado, um fornecedor acreditado, é autorizado a usar a marca *NADCAP* no processo, produto ou serviço acreditado e um certificado de que o mesmo está em conformidade com as especificações aplicáveis.

3.1 Quais as vantagens da acreditação?

Existem duas razões para a procura desta acreditação. A razão principal é a de se usar a acreditação para fazer novos negócios. A segunda razão prende-se com as várias normas que assegurarão que as melhores práticas estejam implementadas para a qualidade crescente de um processo, produto ou prestação de serviços.

A norma *ISO 9000* prescreve somente exigências gerais para a gestão do negócio. A *NADCAP* vai mais longe, ao assegurar a qualidade de uma área específica de negócio, baseada em metodologias detalhadas e comprovadas.

A acreditação *NADCAP* visa internacionalizar a marca *OGMA, SA* e credibilizar a sua qualidade perante a angariação de novos clientes nesta área. Área essa, em constante crescimento e com elevada procura por parte dos grandes construtores de aeronaves.

No domínio dos compósitos, a experiência *OGMA, SA* para os vários fabricantes é limitada como se pode verificar pela lista de peças fabricadas em compósito da Tabela 1. É com o objectivo de acrescentar a lista de clientes no fabrico de peças em compósito que a *OGMA, SA* crê que a acreditação *NADCAP* pode ajudar.

Tabela 1 – Lista de peças em fabrico no âmbito dos materiais compósitos

FABRICANTE	TIPO	PEÇA
Lockheed Martin	Fabrico de painéis em compósito para o Bordo de Fuga do avião C-130J	Wings Trailing Edge
Agusta	Fabrico de peças simples, subconjuntos e conjuntos em compósito para vários tipos de helicópteros	Blower Duct Rear Ramp
Eurocopter	Fabrico de peças simples, subconjuntos e conjuntos em compósito para o helicóptero NH90	Nose Bay Nose Structural Bay Access Doors e Fairings Front & Centre Fuselage
Agusta Westland	Fabrico de peças simples em compósito para o helicóptero EH-101	Rear Fuselage
Dassault Aviation	Fabrico de peças simples em compósito para o avião Falcon 2000EX	Engine Nacelle Pylons
Latecoere	Fabrico de peças simples, subconjuntos e conjuntos em compósito para o avião Airbus A330/A340	Avionics Bay Structure: - Meuble 800 VU - Etagère 915 VU
SLCA	Fabrico de peças simples e Subconjuntos em compósito	Assemble Ecope Piquets
Pilatus	Fabrico de peças simples, subconjuntos e conjuntos em compósito para o avião PC-12	Ventral Dorsal Fin Trailing Edge Flap Fairings and extensions Service Doors
Embraer	Fabrico de peças simples em compósito para os aviões ERJ-170 e ERJ-190	Pylon Cover Bay Channel

Os primeiros passos já tinham sido efectuados antes do início do presente estágio: auditores da *NADCAP* executaram uma vistoria preliminar às instalações dos compósitos, segundo o manual de auditoria específica *NADCAP AC7118*, e realizaram um levantamento das não conformidades existentes. Uma dessas não conformidades prendia-se com a inexistência de regulamentação respeitante à sala limpa e para a sua regulamentação foi recomendada a implementação da norma *ASTM 2352E*, deixando para os responsáveis de secção a definição da classe *ISO* para a sala limpa.

4. Norma ASTM 2352E

A norma *ASTM 2352E Aerospace cleanrooms and associated controlled environments – Cleanroom Operations* especifica requisitos básicos, procedimentos e práticas para o funcionamento de salas limpas e ambientes controlados aeroespaciais e precauções associadas às instalações e equipamento usado. Os requisitos da norma agrupam-se em 8 áreas temáticas, sendo elas: ^[2]

- I. Sistemas gerais de funcionamento;
- II. Vestuário de sala limpa;
- III. Operadores;
- IV. Equipamento estacionário;
- V. Materiais e equipamento portátil;
- VI. Condições de operacionalidade da sala limpa;
- VII. Limpeza da sala limpa;
- VIII. Superfícies críticas.

Sendo estas as áreas abordadas pela norma e as quais foram transcritas, num enquadramento específico à secção dos compósitos da OGMA, SA, e documentadas segundo as regras de elaboração de documentação do Sistema de Gestão de Documentos Normativos, norma *ONS-00002*, cuja estrutura do documento deve incluir os diferentes tópicos que se apresenta: ^[3]

a) Tópicos gerais definidores do conteúdo técnico do documento

- **Título** – Este tópico é redigido de forma a indicar, sem ambiguidade, o assunto do documento de modo a distingui-lo do título de qualquer outro documento;
- **Objectivo** – Este tópico é obrigatório e descreve, sem ambiguidade, o assunto sobre que versa o documento, mesmo que esteja claramente definido no título. No objectivo incluem-se as informações necessárias para completar o título;
- **Campo de aplicação** – Este tópico é obrigatório e destina-se a definir os limites de aplicabilidade do documento;
- **Referências** – Este tópico é opcional e refere todos os documentos indispensáveis à utilização deste documento, como sejam normas, documentos

legais ou quaisquer outros documentos que com ele se achem articulados e nele sejam citados. Não deve conter referências bibliográficas;

- **Definições** – Este tópico é opcional e contém as definições, símbolos e abreviaturas julgadas necessárias à boa compreensão de certos termos utilizados no documento;

- **Responsabilidades** – Este tópico é obrigatório e destina-se a definir as responsabilidades das áreas intervenientes no contexto do conteúdo técnico do documento.

b) Tópicos que exprimem o conteúdo técnico do documento

Estes tópicos dependem do conteúdo técnico do próprio documento.

c) Tópicos complementares

- **Índice** – Para documentos extensos, sempre que se justifique, este tópico será colocado logo após o título;

- **Referência a normalização anterior** – Sempre que o documento anule total ou parcialmente outro(s) documento(s), esse(s) documento(s) deve(m) ser referenciado(s) neste campo;

- **Bibliografia** – Nos casos julgados necessários, este tópico indicará a bibliografia utilizada, podendo incluir-se, além de outros dados bibliográficos, normas internacionais ou nacionais;

- **Anexos** – Quando necessários, estes tópicos são parte integrante do corpo do documento e são colocados, por razões de ordem prática, após o texto principal, ou em ficheiro anexo.

A lista apresentada não é universal, podendo alguns dos tópicos não existir, o que é determinado pela natureza de cada documento.

Com base nesta estrutura de documentos e nos requisitos na norma *ASTM 2352E* e especificações dos clientes, foi elaborada a norma interna *ONS-000230 – CONTROLO AMBIENTAL E OPERACIONAL DA SALA LIMPA* onde é apresentado o resumo dos temas abordados pela especificação *ASTM E2352* que serão discutidos em seguida.

4.1 Sistema de funcionamento

Para poder controlar a contaminação numa sala limpa, é necessário avaliar os riscos de contaminação. A maioria dos responsáveis por salas limpas compreende mais facilmente o sistema *HACCP*, em Português, *Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controlo*.^[2]

Este sistema foi planeado com o objectivo de obter produtos com elevada segurança e hoje em dia é usado intensivamente, para impedir a contaminação na indústria de produção alimentar.

O *HACCP* tem normalmente 7 passos, mas a sua aplicação em salas limpas exige algumas alterações de modo a torná-lo mais adequado ao caso específico de salas limpas.

Para a sala limpa sugere-se o seguinte sistema:

1. Identificar as fontes de contaminação na sala limpa. Construir um diagrama de risco, para ilustrar fontes e rotas de contaminação;
2. Avaliar a importância destas fontes e analisar se os perigos precisam, ou não, de serem controlados;
3. Identificar os métodos a aplicar no controlo destes perigos;
4. Determinar métodos de amostragem válidos para monitorizar os perigos;
5. Elaborar e manter documentação apropriada;
6. Proceder à formação de operadores.

4.1.1 Etapa 1: Identificação das fontes e rotas da contaminação

4.1.1.1 Fontes de contaminação

Exemplos das fontes de contaminação numa sala limpa são as seguintes:

- Áreas menos limpas adjacentes à sala limpa;
- Entrada de ar não filtrado;
- Ar da sala;
- Superfícies;

- Operadores;
- Equipamento;
- Matéria-prima;
- Outros materiais.

As áreas adjacentes à sala limpa estarão provavelmente menos limpas do que a própria sala. O armazém, a área de entrada de pessoal na sala, área de entrada de equipamento, os corredores, são áreas muito próximas da sala limpa e locais onde a contaminação não pode ser controlada.

O ar fornecido à sala, se não for filtrado correctamente, é uma fonte de contaminação. O ar da sala é igualmente uma fonte se contém contaminação dispersa nele de outras fontes, tais como pessoas e maquinaria.

O piso, as paredes, o tecto e outras superfícies na sala limpa são exemplos das fontes de superfície. A sua contaminação é originária, na maior parte, por contacto das pessoas ou de depósitos provenientes do ar. Estas superfícies podem igualmente ser fontes de contaminação se os materiais de revestimento aplicados são de menor qualidade, porque se desagregam e dispersam partículas para o ar.

O vestuário e as luvas da sala limpa são outras superfícies que são contaminadas tanto pelos operadores durante o seu uso como por transferência de outras superfícies da sala limpa. Os operadores dentro da sala limpa podem dispersar a contaminação da sua pele, boca e roupa. Esta contaminação pode ser transferida ao produto através do ar ou pelo contacto com as suas mãos ou roupa.

Os equipamentos são fontes de contaminação, a qual podem gerar pelo movimento das suas partes constituintes, por geração térmica ou de outros modos.

A matéria-prima e outros materiais que são trazidos para dentro da sala limpa, podem vir contaminados e devem ser, por isso, considerados como fontes.

4.1.1.2 Rotas de transferência por via aérea ou por contacto

Depois da identificação das fontes de contaminação de uma sala limpa, devem ser analisadas as rotas de transferência destas. As duas principais rotas são por via aérea e contacto.

A contaminação pode ser dispersada no ar de todas as fontes de contaminação mencionadas e ser transferida ao produto. Se as partículas forem pequenas podem flutuar até outras zonas da sala limpa, caso contrário, tal como sucede com as fibras, assentarão dentro de uma curta distância do local onde sejam originárias, podendo assim depositar-se directamente no produto.

As rotas de contacto da contaminação ocorrem quando as máquinas, os recipientes, o empacotamento, as matérias-primas, as luvas, o vestuário, etc, entram directamente em contacto com o produto. A contaminação por contacto pode ocorrer de diversas maneiras; por exemplo, quando os operadores dispõem os tecidos pré-impregnados, a contaminação das suas luvas é transferida ao produto e pode também ocorrer quando o produto entra em contacto com materiais de ensacamento a vácuo menos limpos.

4.1.1.3 Construção de um diagrama de risco

A construção de um diagrama de risco é um bom método para compreender como a contaminação alcança o produto. A Figura 5 é um diagrama de risco que mostra as principais fontes de contaminação por partículas na sala limpa. Inclui igualmente as principais rotas de transferência da contaminação e os meios de controlá-la.

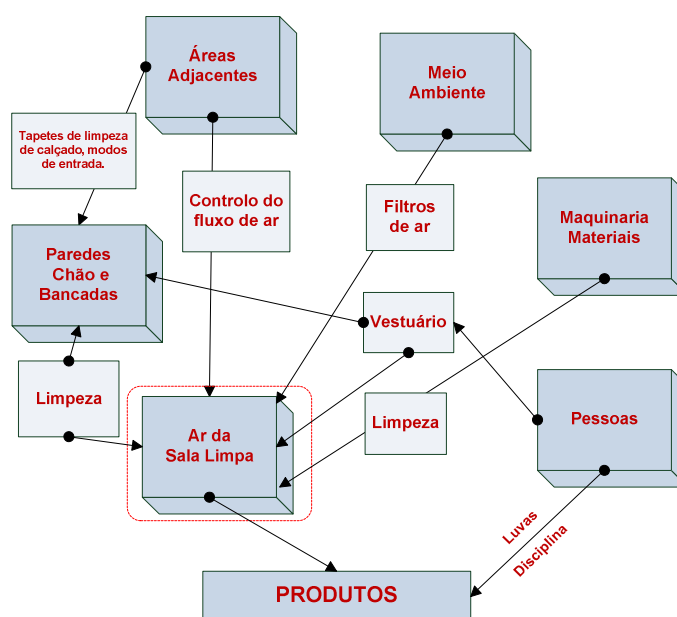


Figura 5 – Fontes e rotas de contaminação de partículas e medidas preventivas.

A transferência da contaminação em torno da sala limpa pode ser muito complexa: em teoria, tudo na sala pode ser contaminado por tudo o mais que nela se encontre. Na prática, devem-se somente considerar as fontes de contaminação principais e significativas.

O processo de manufactura foi excluído da Figura 5. Esse processo é ilustrado em separado na Figura 6.

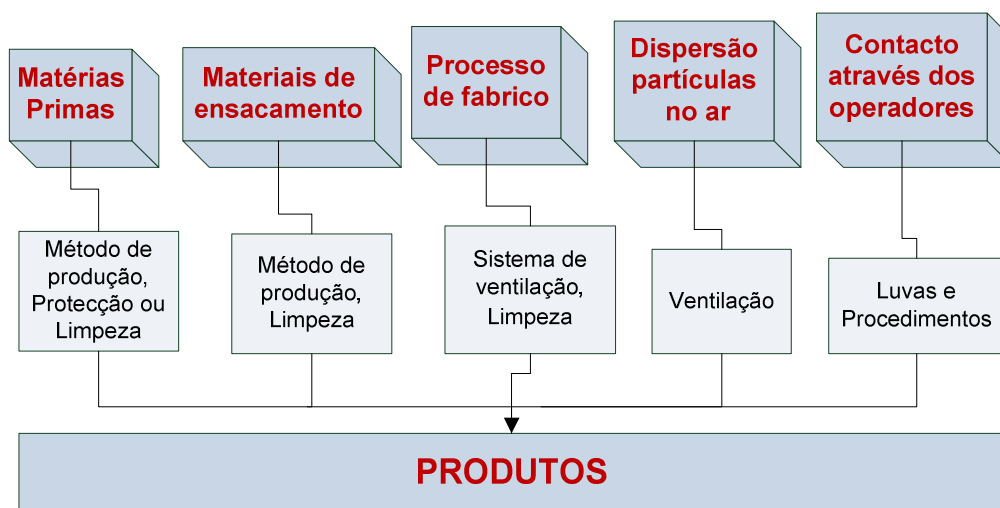


Figura 6 – Fontes e rotas para controlo associados ao processo de manufactura.

A contaminação das matérias-primas, dos materiais de ensacamento pode ser controlada produzindo-os em ambientes limpos e embalados para serem aplicados em ambientes de sala limpa. O processo de fabrico também não é o ideal, visto exigir o contacto das mãos dos operadores para a moldagem dos tecidos pré-impregnados. O contacto com a pele das mãos é evitado pelo uso de luvas próprias para aplicações em ambientes controlados. Um ambiente controlado é exigido para este tipo de processos de fabrico para minimizar a concentração de partículas contaminantes em suspensão no ar.

4.1.2 Etapa 2: Avaliação da influência dos perigos

Quando as possíveis fontes de contaminação e rotas de transmissão da sala limpa forem identificadas, realiza-se uma análise de risco. Esta ferramenta, analisa que fontes de contaminação são significativas, isto é, se são realmente um perigo.

Para determinar a importância expectável de um perigo deve ser determinado um conjunto de factores de risco, que podem ser:

- A.** Quantidade de contaminação disponível para transferência;
- B.** Facilidade com que a contaminação é dispersa ou transferida;
- C.** Proximidade da fonte ao ponto crítico onde o produto está exposto;
- D.** Facilidade com que a contaminação atravessa a barreira de controlo.

A Tabela 2 mostra os factores de risco e os valores quantitativos que podem ser aplicados para estimar a avaliação do perigo de cada fonte individual de contaminação. Cada um destes factores (A, B, C e D) deve ser avaliado e dado uma contagem de 0 a 2. Com esta tabela pretende-se caracterizar níveis de risco de modo a permitir quantificar, de forma grosseira, as fontes de contaminação para cada factor de risco.

Tabela 2 – Factores de risco para avaliação de perigos

VALOR	A	B	C	D
0	Nenhuma	Sem dispersão	Fora da sala	Barreira protectora
0,5	Muito baixa	Muito baixa	Antecâmara	Elevado controlo
1	Baixa	Baixa	Periferia da sala	Bom controlo
1,5	Razoável	Razoável	Dentro da sala	Algum controlo
2	Elevada	Elevada	Na zona crítica	Sem controlo

Usando a equação seguinte, as quatro avaliações devem ser multiplicadas para se obter uma avaliação do risco. A avaliação terá um valor de 0 a 16.

$$\text{Avaliação de risco} = A \times B \times C \times D$$

Equação 1

A avaliação de risco atribui uma categoria "baixa", "média" ou "elevada". Por exemplo, uma avaliação de risco menor de 4 é considerada como "baixa", entre 4 e 12 como "média" e mais "elevada" se superior a 12.

Uma avaliação de risco deve consequentemente ser executada para cada fonte de contaminação e esta avaliação serve para determinar a importância de cada fonte e concluir se é um perigo efectivo para o produto. Esta avaliação de risco ajuda a determinar qual o esforço que se deve empregar para controlar cada fonte.

Qualidade do Ar – Existem inúmeras partículas em suspensão no ar e por toda a sala. Essas partículas atingem facilmente a zona de moldagem

dos moldes. O controlo contínuo dessas partículas faz-se através do sistema de ventilação mas já as antecâmaras podem ser facilmente deixadas abertas pelos operadores permitindo a entrada de contaminação vinda do exterior.

Operadores – A contaminação transportada por operadores é elevada mas a sua dispersão é retida razoavelmente pelo vestuário da sala limpa. Todos os operadores têm liberdade para andarem por todas as áreas da sala limpa desde que vistam o vestuário da sala limpa.

Matéria-prima – O processo de fabrico destes tecidos requer elevados padrões de descontaminação para apresentarem um produto de alta qualidade e satisfazerem os exigentes requisitos de certificação de materiais por parte dos fabricantes de aeronaves. Os rolos de tecidos pré-impregnados são retirados das suas caixas de transporte aquando da sua entrada para as arcas frigoríficas. Estes mantêm sempre o empacotamento secundário durante o seu armazenamento, aplicação e apresentam uma película plástica protectora em cada face do tecido que é removida instantes antes da moldagem.

Outros materiais – Materiais de ensacamento de produtos em vácuo são fabricados sob elevados padrões de descontaminação. Estes materiais são armazenados numa área adjacente à sala limpa e são desempacotados antes de seguirem para a sala limpa, limpos nas antecâmaras e pendurados em suportes próprios.

Processo de fabrico – O processo de fabrico das peças compósitas envolve a compactação dos tecidos com as mãos dos operadores. As mãos destes estão revestidas por luvas de nylon obrigatórias para esta actividade. Estas luvas ficam contaminadas ao fim de algum tempo de uso e podem contribuir para a contaminação dos produtos.

Após estas considerações sobre cada uma das fontes de contaminação, atribuiu-se um valor, plausível, para cada fonte de contaminação perante os diversos factores de risco, Tabela 3.

Tabela 3 – Avaliação de riscos

FACTOR	A	B	C	D	TOTAL
Qualidade do Ar	2	2	2	1,5	12
Operadores	2	1	2	2	8
Matéria-prima	0	0	2	0	0
Outros materiais	1	1	2	1	2
Processo de fabrico	1	1	2	1	2

A partir dos resultados da avaliação de riscos, Tabela 3, identificam-se a qualidade do ar e os operadores da sala limpa como os riscos significativos que podem comprometer a qualidade dos produtos fabricados a partir da sala limpa, sendo no controlo desses que deve ser posto maior empenho.

4.1.3 Etapa 3: Identificação de métodos para controlar perigos

Depois de identificados todos os perigos de contaminação e avaliados os respectivos graus de risco, é então necessário rever os métodos disponíveis para os controlar e minimizar.

A importância de obter um método de controlo eficaz está relacionada com a avaliação de risco realizada: quanto maior o risco, mais eficaz deve ser o método de controlo. As Figura 5 e Figura 6 identificam métodos que podem ser usados para controlar as rotas de propagação da contaminação.

Estes são:

1. Os filtros de ar da UTA podem ser usados para impedir todos os contaminantes que entram com o ar fornecido à sala. Contudo, ar não filtrado pode passar através de defeitos em filtros danificados ou contornar o filtro devido ao seu fraco encapsulamento.
2. Face à contaminação transportada por via aérea das áreas adjacentes à sala limpa, podem adoptar-se como métodos de controlo a pressurização positiva da sala, antecâmaras e tapetes ou esteiras adesivas.
3. Embora o ar da sala limpa seja uma rota de transferência, é igualmente uma fonte. A contaminação gerada por esta fonte e transportada por via aérea,

pode ser reduzida pelo uso de um sistema de ventilação convencional ou de um sistema de ventilação unidireccional tendo em vista a sua diluição.

4. A possibilidade de transferência da contaminação do piso, das paredes e do tecto pode ser minimizada limpando com frequência essas superfícies; adicionalmente, toda a contaminação com origem nessas fontes que possa ser transportada por via aérea é controlada pela ventilação.
5. Os operadores dispersam contaminação da sua boca, cabelo, roupa e pele. Os vestuários e as luvas da sala limpa minimizam esta dispersão e a contaminação que não possa ser controlada pode ser minimizada pelo sistema de ventilação.
6. Todos os materiais de suporte ao fabrico dos produtos, assim como tecidos pré-impregnados e materiais de ensacamento em vácuo, devem ser fabricados num ambiente que assegure que apresentem concentrações de contaminação mínimas. Devem ser correctamente envolvidos em películas protectoras para se assegurar de que não sejam contaminados durante a entrega na sala limpa.

4.1.4 Etapa 4: Amostragem para monitorização e controlo de perigos

Nesta etapa é necessário ajustar limites para assegurar que a contaminação do processo de manufactura seja mantida sob controlo.

Na Tabela 4 são indicados alguns perigos conhecidos de salas limpas, as suas rotas de transferência e de controlo e como monitorizá-los.

Tabela 4 – Métodos de monitorização e controlo das fontes e rotas de transferência.

PERIGO	VIA	CONTROLO	MONITORIZAÇÃO
Fornecimento de ar	Aérea	Filtros de ar	Teste de ensaio
Áreas adjacentes	Aérea Contacto	Fluxo do ar Tapete	Diferencial de pressão Inspecção de tapetes
Partículas em suspensão	Aérea	Ventilação	Controlo do fluxo de ar Contagem de partículas Velocidade de fluxo de ar
Piso, paredes e superfícies	Contacto	Limpeza	Contagem de contaminantes da superfície
Pessoas	Aérea	Vestuário da sala	Teste de penetração de partícula no tecido Inspecção de rasgos
	Contacto	Luvas	Contagem de partículas no tecido Inspecção de furos
Outros materiais	Contacto	Limpeza	Contagem de contaminantes na superfície
Matéria-prima	Contacto	Limpeza	Contagem de contaminantes na superfície

4.1.5 Etapa 5: Programação da monitorização

Alguns sistemas de vigilância são contínuos, como sucede nos casos dos sistemas de medição e controlo da temperatura, humidade relativa e pressão da sala limpa. Por outro lado, algumas fontes de contaminação, tais como o piso ou a concentração de partículas em suspensão no ar, não são monitorizados. A frequência da monitorização terá que ser de acordo com a norma *ASTM E2352* e as especificações dos clientes para cada método de perigo ou de controlo.

4.1.6 Etapa 6: Documentação

Um sistema de controlo eficaz da contaminação requer a documentação de tudo que lhe diga respeito, tal como:

1. Métodos descritos nas etapas precedentes deste subcapítulo;
2. Procedimentos de monitorização;
3. Resultados e critérios de avaliação da monitorização.

Quando os níveis de conformidade são excedidos estes devem ser relatados à EPF que tomará as acções adequadas para corrigir os desvios existentes. De acordo com o sistema de gestão de qualidade implementado na *OGMA*, *SA*, *ISO 9001*, toda e qualquer ocorrência durante o processo produtivo deve ficar registada no *OGMA Mod. 3059*, ANEXO 11.

4.1.7 Etapa 7: Formação de operadores

Todos os esforços para controlar a contaminação serão ineficazes se os operadores que trabalham na sala limpa não compreenderem como a mesma funciona e como devem comportar-se dentro dela para minimizar a contaminação. Devem ser treinados nestes aspectos da contaminação antes de iniciarem funções na sala limpa e em intervalos regulares de 2 anos durante toda a sua carreira.^[2]

Esta temática de formação foi incluída no plano anual de formação dos operadores da FCO. O plano de formação da área, Anexo I, visa induzir maiores competências e qualificações a todos os profissionais da área dos compósitos, sendo a formação ministrada numa componente teórica em sala e outra vertente prática em contexto real de trabalho.^[12]

A formação em contexto real de trabalho tem um papel fundamental para a qualificação dos colaboradores da OGMA, SA, constituindo um requisito dos procedimentos de qualificação de profissionais. A formação prática, em contexto real de trabalho, deve estar associada à actividade e/ou tarefas inerentes ao exercício de uma profissão. ^[13]

Toda a formação na OGMA, SA compreende uma sessão teórica ministrada em sala onde um grupo de operadores é dispensado do serviço para assistir à aula de formação. Toda a formação é preparada previamente pelo formador, acreditado com um certificado de aptidão pedagógica, através de um diaporama em *PowerPoint* da temática, manual teórico da temática, teste teórico para avaliação dos conhecimentos adquiridos na formação por parte dos formandos e testes práticos para avaliação prática em contexto real de trabalho.

Todos estes requisitos de formação de operadores na OGMA, SA foram preparados para a temática de “*Procedimentos de Sala Limpa*” contudo não foi possível ministrar a formação nesta área, uma vez que este plano de formação foi inserido em programas governamentais para subsidiar a formação de trabalhadores. Com estes subsídios do estado, a empresa pode reduzir o prejuízo que tem ao ter os operadores em formação e não a laborar, contudo, este processo veio a atrasar em demasia o início do plano e por isso esta formação ainda não tinha sido possível ministrá-la.

Desta forma, limitou-se a introduzir regras de conduta e de procedimentos na secção, mencionadas ao longo dos próximos capítulos e rectificar os erros à medida que eram identificados. Os operadores que praticavam esses erros em ambiente de sala limpa eram chamados à atenção, para o erro cometido, e explicado, de forma simples, o modo de como executar a mesma tarefa sem incutir o mesmo erro.

4.2 Vestuário de sala limpa

Grandes volumes de contaminação são dispersados, constantemente, a partir dos operadores das salas limpas. Vestuário específico para salas limpas é usado para controlar a dispersão de partículas com essa origem e a consequente contaminação do ar da sala.

O uso de vestuário para reduzir a dispersão da contaminação teve origem na prática hospitalar. No fim do século XIX verificou-se que os cirurgiões que inspecionavam feridas em pacientes transferiam bactérias para outras divisões do hospital através do seu vestuário. ^[9]

As fontes da contaminação dispersada por via aérea podem ser diferenciadas em dois tipos: partículas inertes e partículas microbiológicas; no caso da actividade desenvolvida na sala limpa da OGMA, SA apenas será considerado o caso das partículas inertes. Despreza-se as partículas microbiológicas porque a fase seguinte à moldagem dos tecidos pré-impregnados na sala limpa segue-se a fase de polimerização das peças, em autoclave, a temperaturas a rondar os 180°C e elevadas pressões. Deste modo, a polimerização elimina qualquer hipótese de um organismo sobreviver.

4.2.1 Fontes e rotas da dispersão de partículas inertes

A taxa de dispersão de partículas por via aérea varia de pessoa para pessoa, sendo tanto mais importante quanto maior a actividade do operador. A dispersão é dependente do vestuário usado, podendo situar-se na escala de 10^6 a 10^7 por minuto para partículas de tamanho superior a $0,5\ \mu\text{m}$, isto é, até 10^{10} por dia. ^[9]

Os operadores podem dispersar partículas através da:

- Pele;
- Roupa própria usada debaixo do vestuário da sala limpa;
- Vestuário da sala limpa;
- Boca e nariz.

No caso particular da dispersão de partículas pelo vestuário da sala limpa ocorre através de:

- Poros da malha;
- Aberturas junto do pescoço, joelhos e pulsos;
- Orifícios e rasgos.

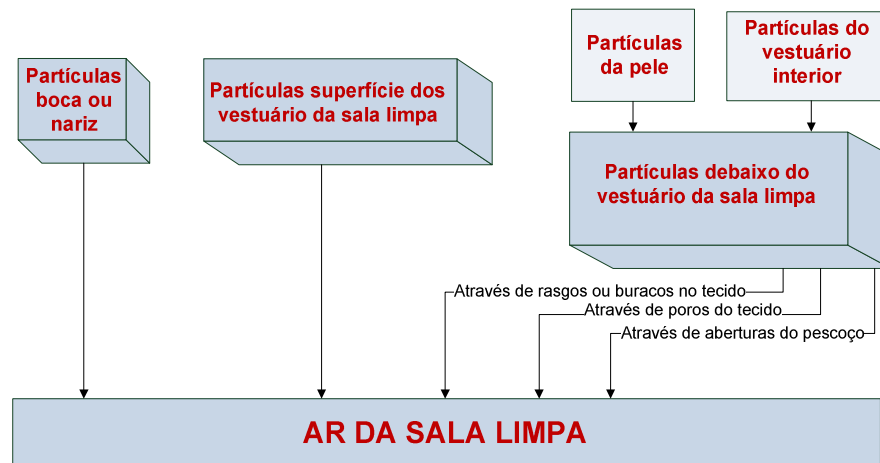


Figura 7 – Fontes e rotas de partículas inertes contaminantes.

4.2.1.1 Pele

Um ser humano liberta aproximadamente 10^9 células epiteliais por dia. Essas células epiteliais medem aproximadamente $44\text{ }\mu\text{m} \times 33\text{ }\mu\text{m}$ e encontram-se na sala limpa como células inteiras ou fragmentos destas. A Figura 8 representa uma micrografia de uma secção de pele. As camadas superiores na fotografia representam as células epiteliais mortas ou pele seca.



Figura 8 – Secção de corte da pele humana. As camadas mais superficiais são as células epiteliais mortas, que vão ser substituídas por pele nova. No interior da derme, encontra-se uma glândula sudorípara. (Escala não especificada) ^[4]

A pele seca pode ser dispersada no vestuário e posteriormente eliminada pela lavagem da roupa; outra parte é eliminada através do banho. Contudo, uma grande parte é dispersada no ar, oriunda das superfícies de pele a descoberto. Estas partículas de pele são uma das principais fontes de contaminação dos operadores transportada para a sala limpa por via aérea.

4.2.1.2 Roupas próprias usadas debaixo do vestuário da sala limpa

A roupa própria dos operadores, envergada sob o vestuário da sala limpa, tem um elevado efeito na taxa de dispersão de partículas inertes. Se a roupa própria é fabricada com fibras naturais, tais como o algodão de uma camisa, umas calças de ganga ou uma camisola de lã, pode dispersar grandes quantidades de partículas. A razão de assim ser prende-se com o facto desses materiais naturais se apresentarem sob a forma de fibras curtas, as quais se fragmentam facilmente.

A Figura 9 mostra uma fotografia de tecido de algodão, onde é fácil encontrar fragmentos de fibras. Estes fragmentos depois combinam-se com as partículas dispersadas da pele e atravessam o vestuário exterior.

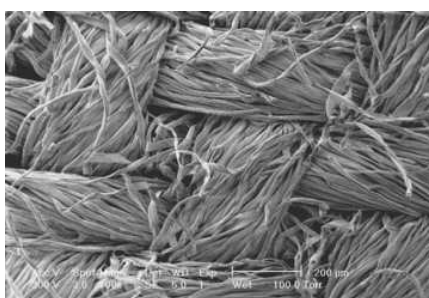


Figura 9 – Micrografia de um tecido de algodão. (Escala não especificada) ^[5]

Caso a roupa própria seja feita com tecidos sintéticos, a transmissão de partículas dos vestuários internos pode ser reduzida em mais de 90%. Pode ser ainda mais reduzido se o vestuário próprio tiver uma elevada eficiência na filtragem das partículas de pele através de uma maior compactação da malha, isto é, da redução do espaçamento entre fibras no entrelaçamento destas na malha. ^[9]

4.2.1.3 Vestuário da sala limpa

A indústria associada a salas limpas colocou particular ênfase na redução da dispersão de partículas provenientes do vestuário da sala limpa, isto é, em propriedades anti-dispersão e na limpeza do vestuário. Os tecidos 100% naturais, como o algodão, libertam por fragmentação das suas fibras um

número inaceitável de partículas, pelo que nunca devem ser usados em salas limpas.

O vestuário de salas limpas deve ser produzido a partir de tecidos de materiais poliméricos ou combinados maioritariamente com tecidos naturais, tais como o poliéster ou o nylon. Estes tecidos são pouco susceptíveis de se fragmentar quando usados em vestuário de salas limpas, tendo sido provado que contribuem somente com 5% do número total de partículas dispersadas por uma pessoa. A maioria das partículas provém da pele ou do vestuário interno da pessoa.

A Figura 10 mostra uma micrografia da estrutura de um tecido sintético da sala limpa. Pode-se ver que o tecido é formado pelo entrelaçamento dos monofilamentos contínuos, que minimizam a fragmentação das suas fibras e a dispersão de partículas do tecido.

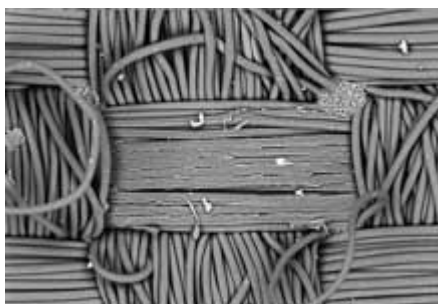


Figura 10 – Tecido sintético com entrelaçamento compacto. (Escala não especificada) ^[6]

4.2.1.3.1 Rotas de transferência de partículas

Embora um tecido do tipo apresentado na Figura 10 disperse poucas partículas, é insuficiente para impedir essas mesmas partículas de o atravessar. Os poros na intersecção das fibras deste tipo de malha – que são formados devido ao facto de os monofilamentos terem um elevado diâmetro e de o entrelaçamento do tecido não ser compacto – podem medir 100µm. As partículas dispersadas da pele e do vestuário interno passam assim por estes poros facilmente. Este tipo de tecido não é desejável para a elaboração de vestuário de salas limpas. Um tecido apropriado para essa finalidade deve ser fabricado de modo a que possa impedir as partículas de atravessar a sua malha.

4.2.1.4 Boca e nariz

Os operadores dispersam partículas inertes e microbiológicas da sua boca e nariz. Os operadores expõem um grande número de gotículas de saliva da sua boca ao espirrar, ao tossir e ao falar. Estas gotículas contêm sais e bactérias, logo é conveniente, em alguns casos de operadores com problemas respiratórios, usarem uma máscara sobre a cara para impedir a dispersão.

Na Tabela 5 é contabilizado o número de partículas inertes dispersadas num espirro, tosse e a falar em voz alta. O número de partículas produzidas durante a respiração não é contabilizado mas será reduzido. ^[9]

Tabela 5 – Partículas inertes emitidas por pessoa

Acto	Partículas inertes
Um espirro	1 000 000
Tossir uma vez	5 000
Pronunciar 100 palavras em alta voz	250



Figura 11 – Partículas emitidas durante um espirro. ^[6]

A Figura 11 mostra uma fotografia de alta velocidade das partículas produzidas durante um espirro. O diâmetro dessas partículas, bem como das gotículas de saliva dispersas da boca, varia entre aproximadamente 1 μm e 2000 μm ; 95% delas possuem uma dimensão média de aproximadamente 50 μm e percorrem distâncias entre 2 m e 100 m. ^[9]

O que acontece a estas gotículas e partículas depende do seu tamanho e da sua velocidade de secagem. Se forem grandes, cairão rapidamente devido às forças gravitacionais e não terão tempo para secar. As partículas pequenas, secam, flutuam no ar, mas serão eliminadas no circuito de ar da sala limpa.

Se não se usar uma máscara, algumas gotículas de saliva de maiores dimensões podem cair sobre os produtos. Muitas das partículas expelidas pela

boca têm dimensões suficientes para serem facilmente retidas por uma máscara protectora. Com a maioria de máscaras existentes obtêm-se uma eficiência superior a 95% para partículas expelidas pela boca. ^[9]

4.2.2 Tipos de vestuário de sala limpa

O tipo de vestuário mais eficaz é aquele que envolve completamente o utilizador. Deve igualmente ser fabricado de uma malha que tenha propriedades eficazes de filtragem e possuir estrangulamentos seguros no pulso, pescoço e tornozelos. Contudo, este estilo de vestuário é frequentemente o menos confortável e mais caro.

A escolha do vestuário depende do que é produzido na sala limpa. Uma classe de sala limpa menos exigente, tal como a ISO 8.5, segundo a norma *ASTM E 2352*, apenas requer a utilização de bata e luvas; contudo, outras indumentárias são requeridas para classes mais exigentes, Figura 12.

A gama de preços dos vestuários de sala limpa é muito alargada, podendo os melhores ser 10 vezes mais caros do que os modelos mais baratos, sendo que nesses casos o acréscimo de eficiência pode compensar a diferença de custo.



Figura 12 – Conjunto de vestuários tipos para salas limpas. ^[7]

4.2.2.1 Malha do tecido

O tipo de malha é um factor importante na escolha de um vestuário da sala limpa. A malha do vestuário deve ser resistente à ruptura de fibras. Uma propriedade ainda mais importante é sua eficiência de filtragem da contaminação gerada pela pele e pelo vestuário interno do operador. A eficiência da malha pode ser avaliada pela sua permeabilidade ao ar, pela capacidade de retenção de partículas e pelo tamanho dos poros no cruzamento das fibras.

O tipo mais comum de vestuário é fabricado com recurso a tecidos sintéticos, normalmente poliéster. Este tipo de vestuário é usado, limpo na lavandaria e usado novamente. Este ciclo repete-se até que a eficiência de filtração de partículas seja diminuta, necessitando o vestuário nessa altura de substituição. A Figura 13 mostra uma malha de poliéster do vestuário de sala limpa. Pode-se verificar o entrelaçamento de monofilamentos finos de poliéster, que confere a esta malha maior compacticidade do que no caso da malha mostrada na Figura 9. É por isso, melhor filtro de partículas e frequentemente usado nas salas limpas.

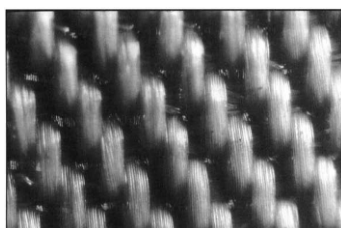


Figura 13 – Fabrico de malha típico da sala limpa. (Escala não especificada) ^[9]

Os tecidos sem entrelaçamento de fibras sintéticas, tais como “Tyvek”, são usados como descartáveis ou de reutilização limitada e frequentemente usados por visitantes ocasionais ou responsáveis da manutenção.

O movimento de uma pessoa gera uma pressão de ar atrás da malha do vestuário. Quanto mais apertada é ao corpo maior é essa pressão. Isto conduzirá ao bombeamento de ar não filtrado para fora do vestuário através das aberturas dos punhos, pescoço, etc. As aberturas do vestuário no pescoço, punhos e na parte inferior das calças devem por isso ser bem vedadas.

O número de buracos e de rasgos no vestuário deve ser mantido a zero. Se tal não for feito, a contaminação do vestuário interno e da pele circularão sem qualquer barreira à sua passagem.

O vestuário deve ser inspeccionado regularmente antes de ser usado. Nenhum vestuário com buracos ou rasgos deve ser usado numa sala limpa.

4.2.2.2 Construção do vestuário

Para assegurar um bom vestuário de sala limpa, devem ser consideradas as seguintes características:

- As extremidades devem ter bainha, ser cobertas, seladas ou cortadas por laser para impedir o seu desgaste;
- As extremidades de tecido devem ser encapsuladas nas emendas;
- Para minimizar a contaminação, as linhas de costura devem ser feitas de filamento contínuo sintético;
- Para minimizar a fuga, todos os tipos de fechos, por exemplo, fecho “*éclair*”, não devem sofrer fragmentação ou corrosão. Devem além disso resistir a múltiplas lavagens;
- O vestuário não deve ter bolsos ou qualquer outra zona de acumulação de contaminação;

4.2.2.3 Escolha de vestuários

O tipo de vestuário usado na sala limpa depende da classe de exigência pretendida para a mesma. A informação do tipo de vestuário que deve ser usado nas diferentes classes de salas limpas é fornecida na norma *ASTM E2352*. Essa informação é resumida na Tabela 6, que fornece sugestões para diferentes classes de sala limpa.

Tabela 6 – Vestuário e frequência de limpeza para classes ISO. ^[2]

Vestuário	Classe 4	Classe 5	Classe 6	Classe 7	Classe 8	Classe 8.5
Bata	A cada entrada	A cada entrada	Diária	A cada 3 dias	Semanal	Semanal
Luvas	A cada entrada	A cada entrada	A cada entrada	A cada entrada	Diária	Diária
Touca e máscara	A cada entrada	A cada entrada	A cada entrada	A cada entrada	Diária	Não aplicável

4.2.2.4 Conforto

O vestuário da sala limpa deve privilegiar o conforto. O vestuário deve ser fornecido em vários tamanhos. Se o vestuário é reutilizável, é comum ajustar as medidas dos operadores segundo a sua própria roupa.

O *design* do vestuário da sala limpa deve garantir que o pescoço, os tornozelos e os punhos permanecem bem apertados, assegurando contudo o conforto do operador.

O conforto do vestuário da sala limpa pode ser avaliado através da sua experimentação por parte dos operadores em contexto real de trabalho. Inevitavelmente, o pessoal prefere o vestuário que garante menor protecção da dispersão de contaminação, pois é normalmente o mais confortável.

Incumbe aos responsáveis da qualidade assegurarem que as propriedades de controlo de contaminação sejam proeminentes, mas uma pequena quantidade de contaminação é inevitavelmente dispersada.

4.2.3 Luvas

As mãos das pessoas têm milhões de partículas e de bactérias fixadas na superfície da pele, assim como gorduras e sais. É aconselhado o uso de luvas para impedir a transferência destas substâncias para os produtos.

Há um sem número de problemas associados com as luvas de salas limpas. A sua superfície não pode estar suficientemente isenta da contaminação, uma vez que, geralmente, não são manufacturadas em ambiente de sala limpa, exigindo uma prévia limpeza antes de ser usada. Devem assim ser seleccionadas no que diz respeito à sua contaminação de superfície e, dependendo do tipo de uso, estar livre de partículas, gorduras ou produtos químicos prejudiciais para o produto.

As luvas são obrigatórias na sala limpa para impedir que produtos químicos, geralmente componentes resinosos dos tecidos pré-impregnados ou solventes perigosos, entrem em contacto com as mãos do operador, e também para prevenir a contaminação das mãos ao produto.

A pele de alguns operadores pode ser alérgica aos materiais constituintes das luvas. As luvas de latex, de nitrilo ou de neopreno podem causar irritações na pele e são pouco resistentes quando se lida com resinas altamente adesivas. Por este facto devem é que se usa luvas constituídas a 100% por monofilamentos de fibras de nylon.

4.2.3.1 Teste das luvas

A informação das propriedades das luvas e dos métodos aplicados para as testar é dada na especificação do *Institute of Environmental Sciences and*

Technology Recommended Practice, IEST-RP-CCO05. Os testes para medição da contaminação da sua superfície incluem a contagem de partículas, e as medições de resíduos permanentes ou não voláteis e de iões.

A contagem de partículas envolve submergir uma amostra numa quantidade de água isenta de partículas e agitá-la num centrífugador por um determinado tempo. A água da amostra é então analisada, através de um contador de partículas em meio líquido, ou de um microscópio.

A medição do resíduo permanente envolve submergir uma amostra num solvente apropriado, a uma determinada temperatura, por um período de tempo especificado. A amostra é posteriormente removida e é medido o peso do resíduo do solvente evaporado.

O conteúdo iónico é medido submergindo uma amostra na água desionizada por um período de tempo onde posteriormente é medido o conteúdo de iões da água.

Outros testes incluem a resistência química e a compatibilidade, força e envelhecimento acelerado do material de isolamento, carga estática, resistência da permeabilidade aos líquidos, transferência por contacto, desgasificação e resistência térmica. Estes são detalhados na especificação IEST-RP-CCO05.

4.2.4 Armazenamento de vestuário

Após sair da sala limpa, os operadores reutilizam o seu vestuário na próxima reentrada. O vestuário não descartável deve ser então colocado em local fechado, que o proteja da contaminação exterior e armazenado até à próxima utilização.

O vestuário deve ser armazenado de modo a impedir a contaminação, podendo ser conseguido de diversas maneiras, como por exemplo:

- Cada artigo de vestuário pode ser enrolado com a área interior para dentro e colocado em sacos de plástico vulgares e limpos antes de serem armazenados nos cacifos fora da sala limpa.
- As luvas podem ser presas à parte externa do vestuário por meio de um alfinete ou enfiadas nos bolsos e o conjunto ser pendurado, preferivelmente, em armários individuais dentro das antecâmaras.

4.3 Operadores

Os operadores da sala limpa são a maior fonte de contaminação da sala limpa. A maior parte dos microrganismos encontrados numa sala limpa vêm dos operadores, que são igualmente a principal fonte de partículas inertes. É por isso necessário assegurar-se de que durante as tarefas de trabalho dos operadores seja gerada ou transferida o mínimo de contaminação possível. A contaminação do produto de fabrico pode ser minimizada através da implementação de determinadas regras de comportamento dos operadores.

4.3.1 Acesso a salas limpas

Os operadores podem, ao movimentar-se, dispersar no ar, em cada minuto, aproximadamente 10^6 partículas $\geq 0,5 \mu\text{m}$ e milhares de partículas portadoras de micróbios. Quanto mais pessoas se movimentarem, maior será a dispersão de contaminação dentro da sala limpa. Assim, é importante limitar o número de pessoas dentro da sala, pelo que somente os operadores essenciais ao fabrico devem permanecer na sala limpa.

Porque muitos problemas de contaminação são causados pela falta de conhecimento, só operadores treinados para trabalhar numa sala limpa devem admitidos para trabalhar dentro da sala limpa. Os operadores devem para isso obter formação, de 2 em 2 anos, nos vários aspectos de controlo da contaminação da sala limpa.

Os visitantes devem ser evitados ou somente ser admitidos sob supervisão de alguém com a formação necessária. Como a sala limpa é projectada com janelas em vidro transparente, geralmente bastará que os visitantes vejam a sala limpa através destas janelas.

A seguir são indicadas restrições de acesso. As restrições contêm critérios que podem discriminar alguns operadores, deve-se assegurar de que toda a discriminação não seja ilegítima nem infundada.

- Condições de pele onde grandes quantidades de células epiteliais são dispersadas constantemente, como dermatites, queimaduras solares ou caspa;

- Condições respiratórias tais como tossir ou espirrar, causadas por temperaturas de ambiente baixas, por gripe ou por outras doenças do foro pulmonar;
- Pessoas com quadros alérgicos, que causem espirros, comichão ou rinorreia;
- Pessoas alérgicas aos materiais usados na sala limpa, tais como: vestuários em poliéster, luvas em *nylon*, produtos químicos (resinas adesivas, solventes químicos e agentes de limpeza, etc.);

Dependendo do risco da contaminação dentro da sala limpa, todas as seguintes sugestões devem ser transmitidas à equipa de operadores, de modo a que a contaminação dentro da sala possa ser minimizada:

- Os operadores devem ter um bom nível de higiene pessoal; devem tomar duche regularmente para evitar a caspa e para garantir a remoção de pele morta.
- Devem lavar sempre o cabelo após o seu corte, para impedir a transferência de cabelo para o produto.
- No caso de terem a pele seca, devem usar uma loção hidratante para substituir o óleo natural da pele em carência.
- Materiais tais como cosméticos em pó, pó de talco, pulverizadores para cabelo ou substâncias similares não são permitidos na sala limpa; Qualquer substância aplicada sobre o corpo deve ser geralmente considerada como um agente contaminante.
- Relógios e jóias são permitidos na sala limpa desde que estejam sob a roupa ou luvas; estes acessórios podem puncionar as luvas e gerar contaminação das mãos para a sala, mas como as luvas usadas nesta sala limpa são de material resistente, 100% nylon, aqueles acessórios são permitidos sob a condição acima referida.
- Os fumadores são conhecidos por emitirem mais partículas da sua boca do que os não fumadores; convém assegurar-se de que os operadores não fumem várias horas antes de entrarem na sala limpa, ou que ingiram um gole de água antes de entrar na mesma, para reduzir significativamente o número de partículas dispersas a partir da boca.

4.3.2 Artigos pessoais proibidos na sala limpa

Regra geral, nada deve ser permitido na sala limpa que não seja exigido para o processo de fabricação do produto. Os artigos que devem ser considerados para a inclusão numa lista de artigos proibidos são:

- Comida, bebida, doces e pastilhas elásticas;
- Acessórios de fumadores;
- Jornais, revistas, livros e lenços de papel;
- Lápis e borrachas;

4.3.3 Conduta dentro da sala limpa

Dentro de uma sala limpa, devem-se seguir várias regras de conduta para assegurar-se de que os produtos não sejam contaminados.

Os procedimentos de uso geral que devem ser adoptados são indicados de seguida.

4.3.3.1 Transferências de ar

Para assegurar que o ar não é transferido de uma área de elevada contaminação para uma de baixa contaminação, as seguintes regras devem ser respeitadas:

1. Os operadores devem sempre entrar ou sair da sala limpa através das antecâmaras. A antecâmara é usada não só para mudar de roupa, mas também como uma zona intermédia entre o ambiente adjacente e a sala limpa. Os operadores não devem usar a saída de emergência tal como se de uma passagem normal se tratasse, pois tal permitiria a contaminação directa na sala limpa e dos vestuários.
2. As portas das antecâmaras não devem ser deixadas abertas., sob pena de o ar ser transferido entre as duas áreas adjacentes, devido à turbulência gerada pelas diferenças de temperatura e de pressão entre as mesmas (Figura 14). Para evitar esse tipo de ocorrência, foi solicitada a montagem nas portas das antecâmaras de dispositivos de fecho automático (Figura 15).



Figura 14 – Portas das antecâmaras não devem ser deixadas abertas



Figura 15 – Mola aérea hidráulica com braço normal. ^[14]

3. Ao passar através das portas numa antecâmara, os operadores devem assegurar-se de que a primeira porta está fechada antes de abrir a seguinte.

4.3.3.2 Comportamento dos operadores

As seguintes sugestões devem ser consideradas para assegurar que os operadores não contribuam inadvertidamente para a contaminação dentro da sala:

1. O comportamento indisciplinado não deve ser permitido. A geração de contaminação é proporcional à actividade (Tabela 7).

Tabela 7 – Partículas geradas por actividade dos operadores. ^[9]

Estado	Partículas geradas por minuto ($\geq 5 \mu\text{m}$)
Imóvel	100 000
Mover braços e cabeça	1 000 000
Andar	5 000 000

2. Os operadores devem posicionar-se correctamente no que diz respeito ao produto, de modo que a contaminação não se deposite no mesmo (Figura 16). Não devem inclinar-se sobre o produto de tal maneira que as partículas ou as fibras provenientes dos operadores caiam sobre o produto; contudo, nalguns produtos de grande dimensão pode ser impossível respeitar completamente este preceito.

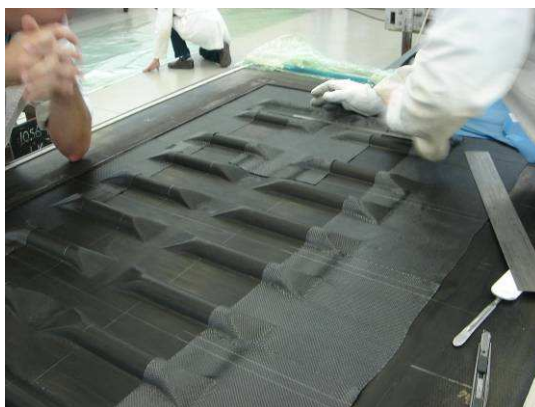


Figura 16 – Operador a conversar e mal posicionado sobre o molde. Ao fundo, operador a estender material de ensacamento a vácuo no chão contaminado.

3. Os operadores não devem carregar material junto ao seu corpo ou em contacto com superfícies contaminadas (Figura 16). Embora usem a roupa da sala limpa, esta é muito mais limpa do que a roupa pessoal, mas não está completamente isenta de contaminação.
4. Os operadores não devem falar enquanto trabalham sobre o produto, caso contrário a saliva da boca contaminará o produto (Figura 16). O falar, tossir ou espirrar liberta contaminação da boca e nariz; se os operadores tiverem necessidade de tossir ou espirrar devem girar a cabeça para longe do produto ou usar temporariamente máscara. Embora não sejam obrigatórias para esta classe de sala limpa, as máscaras são um importante instrumento na prevenção da contaminação proveniente das vias respiratórias.

4.3.4 Procedimentos de entrada e saída

O vestuário terá que ser vestido antes de entrar na sala limpa e de modo a que a sua superfície exterior não seja contaminada. O melhor método de mudança de vestuário será aquele que minimize a contaminação na superfície externa do vestuário da sala limpa.

As áreas de passagem para a sala limpa são:

1. Zona prévia à antecâmara;
2. Antecâmara.

Os operadores movem-se pelas zonas da seguinte forma:

4.3.4.1 Na zona prévia à antecâmara

Antes de iniciar a mudança de roupa, é aconselhável que os operadores efectuem todas as necessidades fisiológicas que impliquem uma deslocação forçada ao exterior da sala limpa, de modo a evitar mudanças adicionais de vestuário.

Nesta classe de sala limpa, os sapatos não necessitam de ser cobertos, mas devem usar-se os tapetes da entrada para limpeza do calçado (Figura 17).



Figura 17 – Tapete de limpeza de calçado da entrada

Para este tipo de prevenção ser eficaz, cada peça de calçado deve entrar no mínimo três vezes em contacto com o tapete, para assegurar a remoção de toda a contaminação da sola do calçado.

Dentro da zona prévia à antecâmara devem ser realizadas as seguintes tarefas:

1. Os operadores devem despir a sua roupa própria de modo a que se sintam confortáveis na sala limpa. A roupa excedente deve ser armazenada em cacifos próprios existentes para esse efeito (Figura 18);



Figura 18 – Cacifo para pendurar a sua roupa e cacifo para armazenar bens pessoais.

4.3.4.2 Antecâmara

Dentro da antecâmara devem ser realizadas as seguintes tarefas:

1. Os vestuários a serem usados dentro da sala são seleccionados e vestidos. É preciso tomar cuidado para não deixar a bata tocar no chão ou a sua zona exterior tocar na roupa interna do operador, Figura 19. O vestuário da sala limpa nunca deve sair dos limites da sala limpa e antecâmara, salvo quando é levado para limpeza semanal, Figura 20;

Na sala limpa dos compósitos era comum encontrar operadores com a bata vestida fora da sala limpa. A ideia que eles tinham das batas era que serviam para que não sujassem as suas próprias roupas que trouxessem vestidas para o trabalho nesse dia. Este era o erro comum dos operadores.

A solução passou, para além da chamada de atenção ao operador, por colocar um aviso em cada porta da antecâmara, que alertasse o operador para vestir/despir a bata à entrada/saída da sala limpa. Obrigou, também, à deslocação de cacifos existentes numa zona adjacente da sala limpa para antecâmara. Desta forma as batas podem ser armazenadas em ambiente controlado.



Figura 19 – Cacifos da antecâmara para pendurar a bata dos operadores.

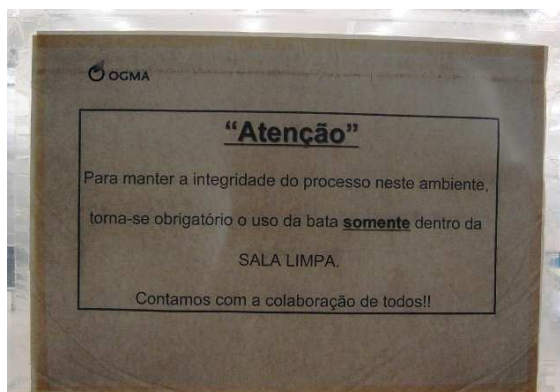


Figura 20 – Aviso colocado nas antecâmaras. Tem escrito: “Atenção. Para manter a integridade do processo neste ambiente, torna-se obrigatório o uso da bata somente dentro da sala limpa. Contamos com a colaboração de todos!”

2. As luvas de trabalho devem agora ser calçadas, sem a área externa ficar contaminada.



Figura 21 – Luvas para a drapagem de tecidos pré-impregnados, 100% Nylon.

Os operadores podem agora prosseguir para a sala limpa.

4.3.5 Pessoal ocasional: provenientes do serviço de manutenção ou outros

Devido à falta de formação ou de supervisão, os operadores que entram na sala limpa para inspeccionar ou executar a manutenção de maquinaria de apoio à produção ou monitorização podem ser um perigo considerável. Os responsáveis pela manutenção, a menos que instruídos de outra maneira, aplicam os mesmos procedimentos que utilizam fora da sala limpa e são completamente inexperientes em técnicas de controlo da contaminação em salas limpas.

De seguida, apresenta-se uma lista de procedimentos que devem ser considerados para os técnicos da manutenção:

- Os técnicos da manutenção devem somente entrar na sala limpa com autorização do chefe de equipa da secção;
- Os técnicos da manutenção devem ter formação em procedimentos da sala limpa ou serem supervisionados por operadores instruídos nesse procedimentos enquanto estão dentro da sala;
- Os técnicos devem usar o mesmo vestuário de sala limpa que os operadores adstritos à mesma, e empregar os mesmos procedimentos para mudar de vestuário ao entrar e ao sair da sala;
- As ferramentas usadas na manutenção da sala limpa devem ser objecto de limpeza antes de entrarem na sala; alternativamente, deverá existir um conjunto de

ferramentas limpas e armazenadas no interior da sala para uso exclusivo na mesma. As ferramentas devem ser fabricadas com recurso a materiais resistentes e anti-corrosivos, por exemplo, o aço inoxidável;

- Não pode existir na sala limpa nenhum documento ou desenho em papel que não seja papel específico para salas limpas. Alternativamente, estes podem ser fotocopiados em papel corrente e depois plastificados ou encadernados em capas plásticas, Figura 22;

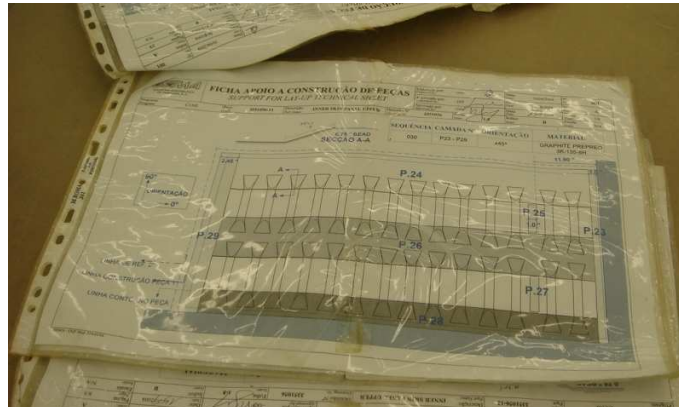


Figura 22 – Documentos técnicos plastificados.

- Operações que gerem partículas, tais como furos, reparações de tectos e soalhos, são proibidas a menos que sejam isoladas do resto da sala limpa. Um vácuo localizado pode igualmente ser eficiente na remoção da poeira gerada;
- No final das operações, os técnicos devem arrumar as suas ferramentas e assegurar-se de que a área é limpa por uma pessoa com o conhecimento apropriado. Só devem ser usados agentes de limpeza, materiais e equipamento de limpeza que tenham sido previamente aprovados para uso na sala limpa.

4.4 Equipamento estacionário

Segundo a norma *ASTM E2352*, este equipamento requer medidas especiais para a sua introdução na sala limpa, instalação, manutenção e limpeza. O equipamento imóvel é praticamente inexistente na sala limpa *OGMA, SA*. O equipamento com esta característica resume-se a bancadas de trabalho, armários para conter o computador do sistema de projecção de camadas a laser e condutas das instalações técnicas. O restante equipamento é todo ele móvel, como os moldes, empilhador e suportes de suspensão de materiais para ensacamento a vácuo.

Contudo, no caso do equipamento fixo desta sala, a sua descontaminação resume-se à frequência e modo de limpeza que é discutido adiante, no capítulo de limpeza da sala limpa.

4.5 Materiais e equipamento portátil

Os materiais usados nas salas limpas devem ser seleccionados com cuidado para assegurar que não contribuem para a contaminação da sala.

Os materiais e equipamentos usados na sala limpa são:

- Pré-impregnados, filmes adesivos e filmes plásticos e de *polyester* para ensacamento em vácuo;
- Vestuário dos operadores;
- Substâncias e acessórios de limpeza;
- Materiais de composição das bancadas de trabalho;
- Artigos descartáveis: película protectora de pré-impregnados, panos anti lint ;
- Moldes;
- Empilhador.

Os materiais susceptíveis de fragmentação ou que dispersem partículas facilmente durante o seu uso no processo de manufactura são proibidos. A entrada de materiais contendo partículas ou fibras à sua superfície deve ser evitada ao máximo.

Os materiais usados na fabricação devem ser escolhidos não somente por serem apropriados para a fabricação, mas igualmente em função do seu potencial de contaminação. Os materiais, substâncias e equipamentos da produção que sejam claramente fontes de contaminação (por exemplo, o empilhador, com as suas sucessivas entradas e saídas) devem ser usados apenas se forem essenciais, e somente se estiver assegurado o controlo da contaminação originada. Como o empilhador é um equipamento fundamental no transporte dos moldes de e para a sala limpa, recorreu-se à aquisição de um segundo empilhador para actuação exclusivamente nas áreas de antecâmara e sala limpa. Se por algum motivo excepcional este segundo empilhador tiver de sair das áreas de ambiente controlado, terá de sofrer uma limpeza rigorosa de todas as suas superfícies antes de reentrar na sala limpa.

Dependendo do potencial de contaminação do produto ou substância, todos os elementos da seguinte lista são proibidos:

- Abrasivos ou pós;
- Aerossóis;
- Artigos feitos de madeira, borracha, papel não plastificado, couro, lã, algodão e outros materiais naturais que se fragmentem facilmente (ver Figura 23);
- Artigos metálicos não revestidos ou de outros materiais passíveis de sofrer corrosão;
- Papel não manufacturado para o seu uso específico em salas limpas. Se for usado papel normal, este deve ser previamente selado em invólucros plásticos;
- Instrumentos de escrita, tais como lápis e borrachas;
- Artigos pessoais como jornais, revistas, livros, comida, bebidas ou fumantes não devem ser trazidos para dentro da sala limpa;



Figura 23 – Esta bancada de trabalho em madeira foi revestida a fibra de vidro

Os artigos de limpeza da sala limpa devem ser seleccionados de uma gama específica para aplicação em salas limpas.

4.5.1 Transferência de artigos através da antecâmara

Os artigos usados na fabricação devem ser transferidos para a sala limpa de modo a minimizar a entrada de contaminação.

Embora esse sistema não esteja implantado em todas as antecâmaras da sala limpa, seria ideal que as portas internas e exteriores das duas antecâmaras¹ mais pequenas estivessem interligadas. Assim se asseguraria que uma porta não pudesse ser aberta até que a outra estivesse fechada, e se

¹ A terceira que liga a zona das autoclaves à sala limpa já tem um sistema de abertura de portas interligadas.

impediria a transferência do ar directamente da área sem controlo para a sala limpa.

Os tapetes das zonas prévias à sala limpa, usados à entrada ou dentro de uma antecâmara, impedem a transferência da contaminação não só das solas do calçado dos operadores, como também das rodas dos carros de transporte de materiais.

As antecâmaras servem também para impedir a entrada da contaminação proveniente da superfície dos materiais e da sua embalagem. Para isso, deve-se limpar ou desempacotar os materiais antes de entrar na sala no seguinte procedimento:

4.5.1.1 Procedimento de transferência

Os artigos empacotados são trazidos até uma antecâmara, num carrinho de transporte, sem conterem qualquer material de empacotamento primário, tal como o cartão cancelado, origem de elevada contaminação.

O carro de transporte carregado é primeiro introduzido na antecâmara proveniente da área sem controlo ambiental adjacente à antecâmara. Se os materiais forem pesados, o carro terá que entrar na sala limpa. Para isso, sofrerá primeiro uma limpeza na antecâmara. Caso contrário, os materiais são transferidos para um carrinho que tenha sido trazido da sala limpa para esse propósito e cujo único intuito é somente o transporte de artigos da antecâmara à sala limpa e vice-versa.

O operador que trouxe os materiais da área exterior sairá agora. A porta desse lado da antecâmara deve ser deixada aberta, por alguns instantes, para permitir que a contaminação em suspensão no ar assente ou flua para fora desta afim de não afectar significativamente a sala limpa após quando ocorrer a abertura da porta da sala limpa.

Seguidamente, os operadores da sala limpa entram na antecâmara, recolhem o carrinho (Figura 24) ou os artigos que foram deixados, limpam ou removem o empacotamento secundário, normalmente uma película plástica, e procedem ao transporte para dentro da sala limpa, onde os artigos são pendurados em estruturas previstas para esse efeito.



Figura 24 – Carrinhos de transporte de materiais.

4.6 Condições de operacionalidade da sala limpa

As salas limpas exigem grandes quantidades de ar, que é condicionado e filtrado de modo a atingir um elevado estado de pureza. Para assegurar uma ventilação económica, é essencial que o ar da sala limpa seja reciclado. Contudo, é igualmente necessário fornecer ar exterior fresco para a saúde dos operadores que lá trabalham e para pressurizar positivamente a sala.

4.6.1 Fluxo de ar

O fluxo de ar turbulento da sala limpa é constituído por 12 ventiladores posicionados no topo da sala que insuflam ar limpo na sala e por 10 extractores que extraem o ar da sala. Deste modo, qualquer molde de moldagem deve ser posicionado sob os ventiladores e para que não exista qualquer obstáculo entre o molde e os ventiladores. O operador não deve posicionar-se sobre o molde, uma vez que irá obstruir o fluxo de ar para a ferramenta e promover a transferência de contaminação para a mesma (Figura 25).

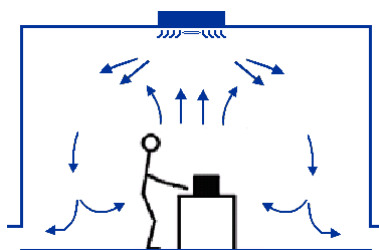


Figura 25 – Posicionamento correcto do molde e do operador perante o fluxo de ar.

A circulação do ar resulta de uma acção conjunta entre a exaustão e a insuflação. A sala é dotada de um conjunto de insufladores e exaustores da instalação permitem desse modo a pressurização e renovação do ar no interior da sala.

Os insufladores têm como função a pressurização do ambiente, impedindo a entrada de partículas estranhas e poeiras para o interior da sala. O sistema de insuflação capta o ar exterior e insere-o na sala, tornando a pressão atmosférica local mais elevada. O sistema de exaustão permite a eliminação de todos os contaminantes existentes na sala, através da captação de pós e partículas estranhas e sua eliminação para o exterior.

Actualmente, o sistema de ventilação está programado para reciclar 80% do ar da sala e adicionar 20% de ar fresco num débito total, em período de actividade, de 14.000 m³/h. A renovação total de ar fresco é realizada num período em que a sala se encontra em repouso e o ar do meio ambiente urbano é mais puro, das 5 às 6 horas da manhã. Nesse período, a unidade de tratamento de ar debita 20.000 m³/h, equivalente a 5 renovações totais do ar da sala limpa.

4.6.2 Controlo das condições ambientais

4.6.2.1 Pressão

O diferencial de pressão entre a sala limpa e as antecâmaras impede o contra-fluxo de ar. A pressão é monitorizada ao segundo, procurando-se mantê-la positiva e preferencialmente constante a 20 Pa acima da pressão do ambiente adjacente. Deste modo garante-se que o fluxo de ar será sempre no sentido de dentro para fora, evitando a transferência de contaminação da zona menos limpa para a sala limpa.

4.6.2.2 Humidade e Temperatura

O controlo e os limites de variação da temperatura, T , e da humidade relativa, H_R , devem ser específicos e ideais para os processos, materiais, equipamento e operadores envolvidos na sala limpa e em conformidade com os requisitos dos clientes. Estes requisitos são variáveis, conforme se pode apreciar através da análise dos valores da Tabela 8.

Tabela 8 – Requisitos ambientais dos clientes e norma ASTM E2352

Cliente / Norma	Temperatura (°C)	Humidade Relativa (%)
EMBRAER ^[14]	[18 – 25]	<70
AGUSTA ^[15]	[19 – 27]	[25 – 60]
ASTM 2352-04	[17 – 28]	≤55
LM AERO ^[16]	[18 – 27]	[35 – 65]

Assim, as condições ambientais da sala limpa devem obedecer aos intervalos de coerência entre as diversas especificações, conforme indicado na Tabela 9.

Tabela 9 – Condições Ambientais da Sala Limpa

	Temperatura (°C)	Humidade (%)	Frequência
SALA LIMPA	[19 – 25]	[35 – 55]	Controlo diário

As condições de humidade, pressão e temperatura são permanentemente monitorizadas e registadas, através de um termohigrógrafo digital *Yokogawa* com registador contínuo e calibrado (Figura 26).



Figura 26 – Termohigrógrafo digital *Yokogawa*

4.6.2.3 Condições ambientais da sala limpa da OGMA, SA

O termohigrógrafo digital *Yokogawa* regista segundo a segundo os valores de pressão, temperatura e humidade relativa da sala limpa. Esse registo é armazenado na memória interna do aparelho e, semanalmente, um operador dos serviços de manutenção de equipamento executa a recolha desses dados, de modo a serem armazenados em suporte digital nos serviços de manutenção.

Esses ficheiros só podem ser acedidos mediante o software próprio de importação e visualização gráfica dos dados recolhidos “*DAQSTANDARD – Data viewer*”. Um gráfico criado com esse software e referente às 24 horas de amostra do ciclo semanal da sala limpa no período compreendido entre os dias 07/05/2007 a 12/05/2007, é ilustrado na Figura 27.

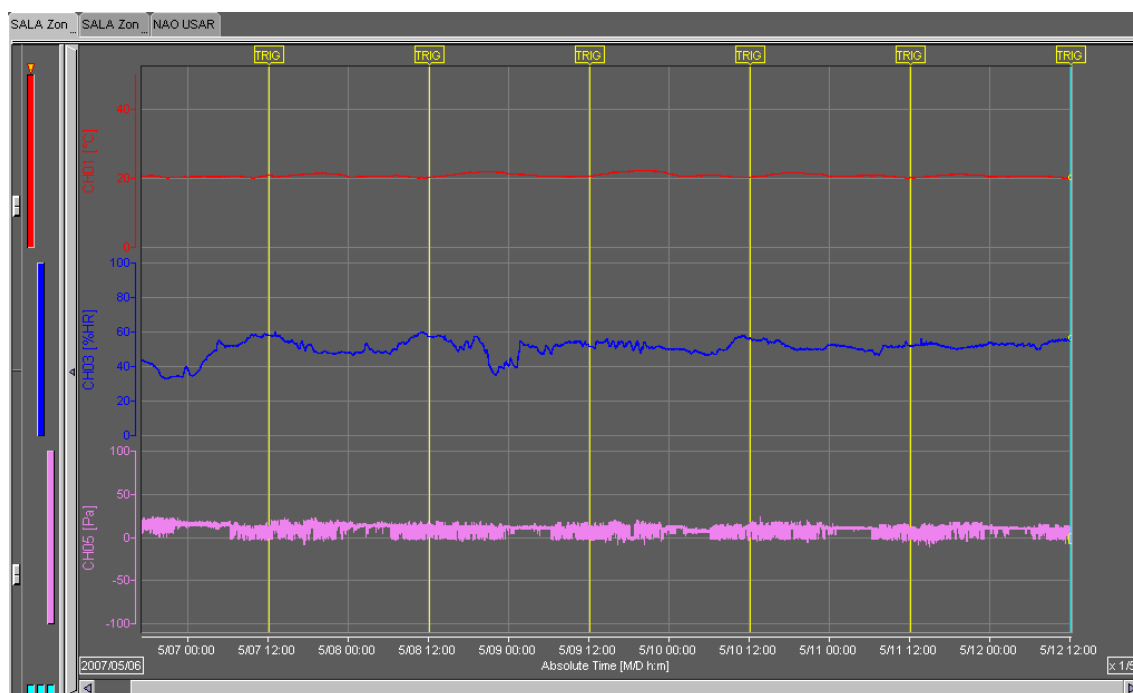


Figura 27 – Condições ambientais da sala limpa ao longo de um período de trabalho semanal

Individualizando cada um dos parâmetros medidos, obtêm-se os seguintes gráficos:

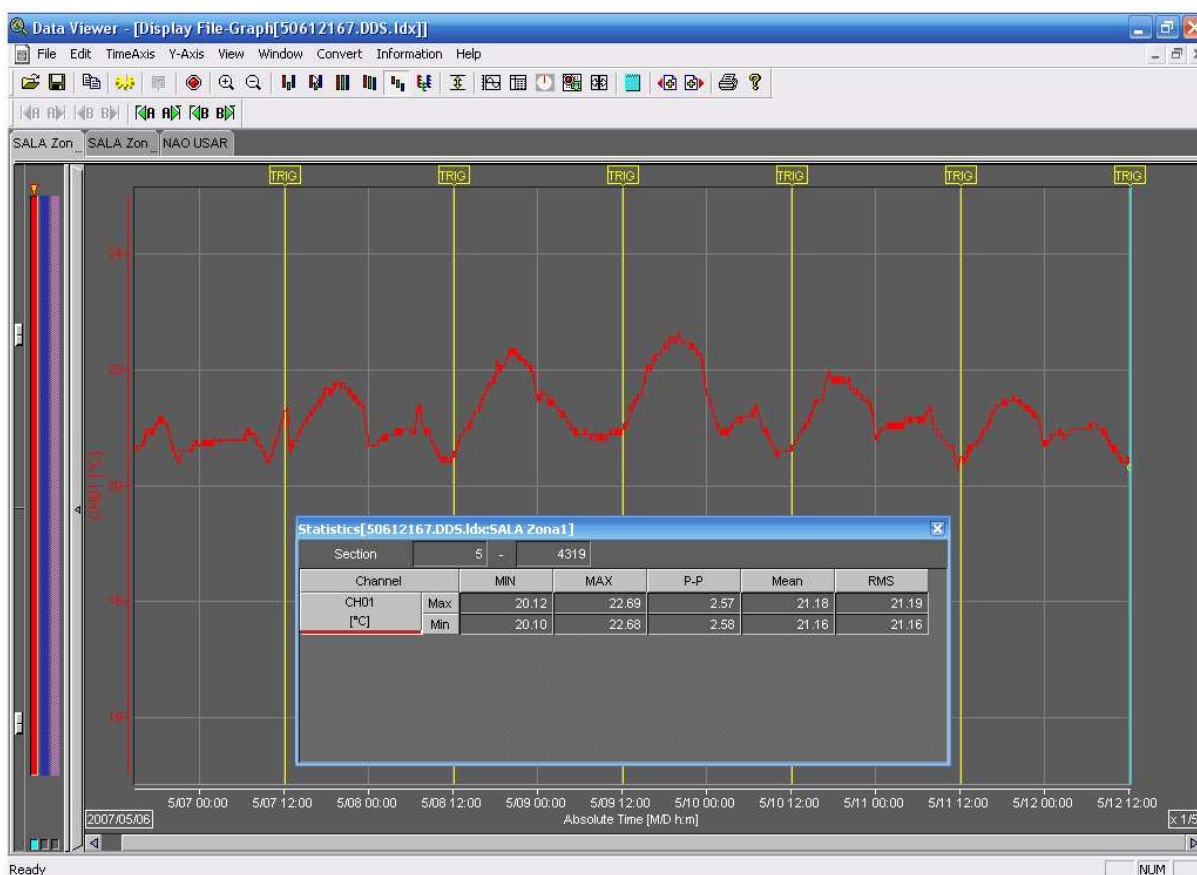


Figura 28 – Variação da temperatura da sala limpa ao longo de um período de trabalho semanal

Da análise estatística depreende-se que os valores de temperatura têm uma variação muito reduzida, situando-se no intervalo entre 20,10 °C e 22,69 °C, com um valor médio de 21,19 °C, em conformidade com os 21 °C definidos para padrão na UTA.

No que concerne à pressão, esta varia ao longo do dia conforme as aberturas/fecho de portas que correspondem às entradas/saídas de moldes ou operadores. Graficamente, verifica-se que no período das 23:30h às 6:30h a variação é muito reduzida, isto porque esse período corresponde ao turno da noite e apenas trabalham dois operadores responsáveis pelo funcionamento contínuo das autoclaves, não se encontrando nenhum operador a trabalhar dentro da sala limpa.

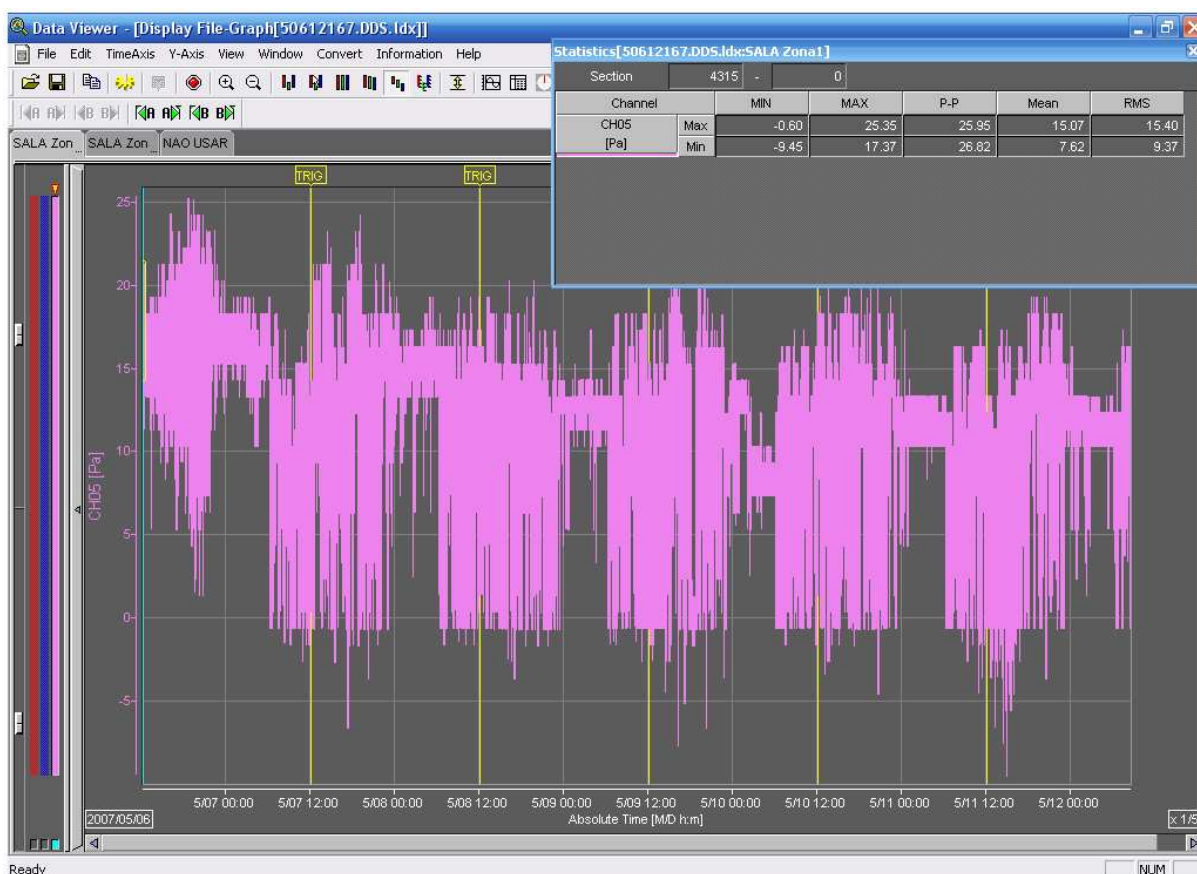


Figura 29 – Variação da pressão da sala limpa ao longo de um período de trabalho semanal

A primeira medida tomada para reduzir as variações de pressão visou a implantação de um computador dentro da sala que permitisse aos operadores imputar trabalho. Esta medida viria a tornar-se essencial porque deste modo evitava-se a saída dos operadores da sala para ir imputar início e fim de serviço, Figura 30.



Figura 30 – Computador para imputação de trabalho no sistema.

A formação dos operadores, no que concerne ao modo de estar em ambiente controlado, deverá conduzir à minimização das saídas/entradas de operadores, instruindo os operadores em procedimentos que causem o menor impacto na qualidade do ar na sala.

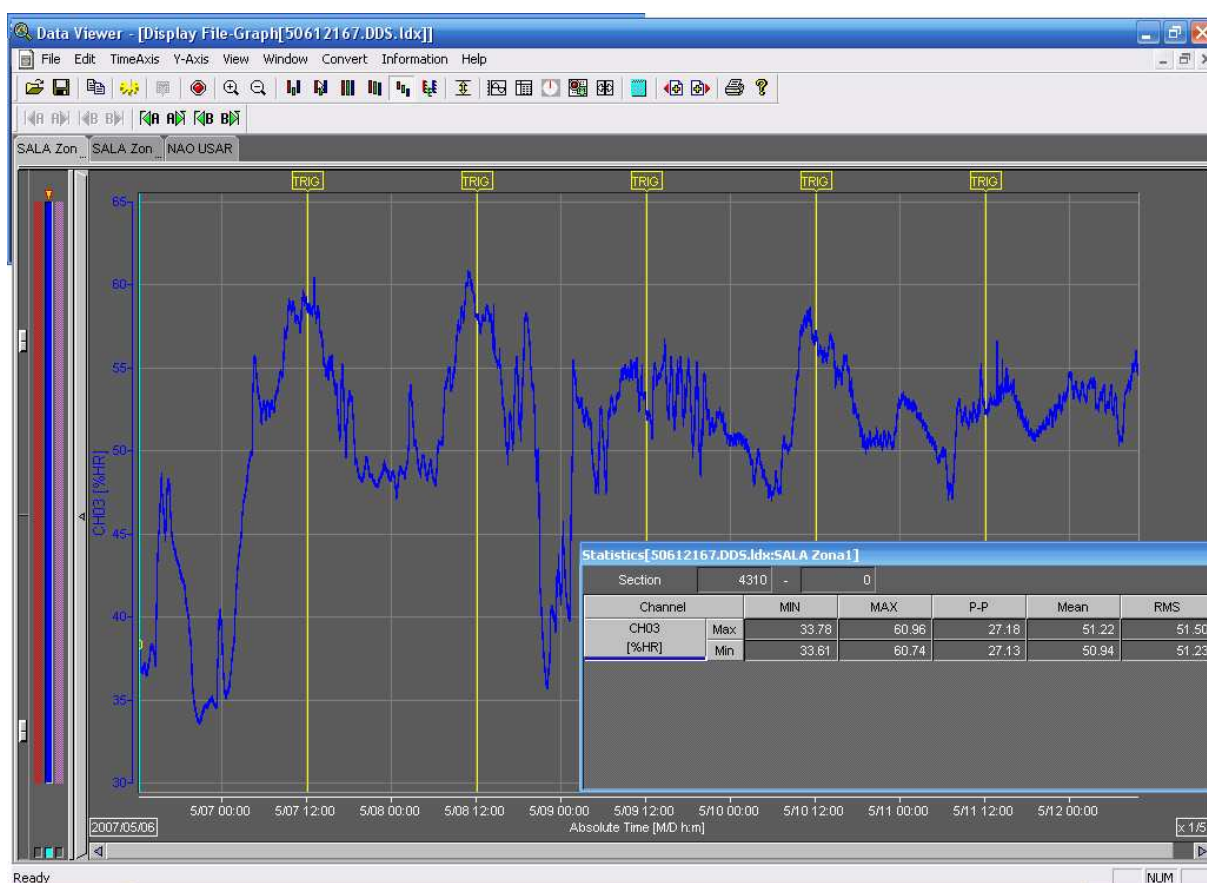


Figura 31 – Variação da humidade relativa da sala limpa ao longo de um período de trabalho semanal

Como se pode ver na Figura 31, a humidade relativa varia muito ao longo do dia situando-se no intervalo entre 33,61% e 60,96%, com uma média diária de 51,22%. A humidade relativa máxima definida para a sala é de 55%, pelo que se registou um conjunto de períodos de não conformidade.

Como referido, a UTA encontra-se a funcionar na máxima capacidade, inviabilizando qualquer modificação deste parâmetro nas definições do sistema de controlo da UTA. Assim, decidiu-se testar sob os critérios de qualidade definidos pelo cliente para esse pré-impregnado uma peça compósita fabricada a partir de pré-impregnados moldados sob uma humidade relativa superior aos 55% requeridos na norma.

Em virtude de ser o material mais representativo das peças fabricadas na OGMA, SA, seleccionou-se o pré-impregnado de carbono/époxi STM22-815. Numa ocasião em que o nível de humidade relativa numa sala adjacente à sala limpa ultrapassou os 55% – de acordo com os registos de um termohigrógrafo – moldou-se a partir daquele pré-impregnado uma peça plana (placa) de 8 camadas. A placa foi em seguida polimerizada, à semelhança do que acontece com as peças fabricadas na sequência de fabrico corrente.

Dessa placa foram posteriormente recortados provetes para ensaios mecânicos: 5 para ensaios em tracção à temperatura ambiente e 10 para ensaios em compressão (sendo 5 destes ensaios realizados à temperatura ambiente e os restantes a 71 °C), de acordo com as especificações dos ensaios de recepção de material requeridos pela *Lockheed Martin* cujas peças são fabricadas com este pré-impregnado.



Figura 32 – Equipamento de ensaios mecânicos Zwick Z100.

A moldagem dos tecidos pré-impregnados teve início próximo das 12h do dia 15 de Fevereiro de 2008, quando o termohigrógrafo registava 20°C e 70% de humidade

relativa (ver ANEXO 5). De seguida a placa foi polimerizada segundo o ciclo de cura deste material:

- **Vácuo** – 0,75 bar mínimo, aumentar para a pressão ambiente na autoclave quando esta atingir os 1,4 bar;
- **Pressão de cura** – 5,9 a 7,9 bar;
- **Temperatura** – Aquecimento a 2,5 °C/min até aos 178 ± 8 °C, manutenção a esta temperatura durante 120 a 180 minutos, e arrefecimento a 2,5 °C/min até aos 38 °C, mantendo a pressão a 2,8 bar;

No ensaio dos provetes, os requisitos de qualidade da *Lockheed Martin* para este material são os indicados na Tabela 10:

Tabela 10 – Requisitos da especificação de referência ao material pré-impregnado

ENSAIO	ESPECIFICAÇÃO	MÍNIMO INDIVIDUAL	MÉDIA
Tensão máxima	STM22-815	>490 MPa	>545 MPa
Módulo de elasticidade		53 – 83 GPa	57 – 73 GPa
Compressão a 71°C		>524 MPa	>462 MPa
Compressão à T _{amb.}		>517 MPa	>579 MPa

Os resultados obtidos foram os seguintes:

Tabela 11 – Resultados dos ensaios mecânicos

ENSAIO	MÍNIMO	MÉDIA	OBSERVAÇÃO
Tensão máxima	640,39 MPa	681,67 MPa	<i>Satisfaz</i>
Módulo de elasticidade	61,88 GPa	63,26 GPa	<i>Satisfaz</i>
Compressão a 71°C	509,12 MPa	565,84 MPa	<i>Satisfaz com o provete N.º 3 abaixo do mínimo</i>
Compressão à T _{amb.}	633,40 MPa	646,35 MPa	<i>Satisfaz</i>

Os resultados obtidos revelam que só um provete de compressão a 71°C não está dentro dos requisitos da norma; porém, a média desse ensaio situa-se 103,84 MPa acima do valor padrão, logo pode garantir-se que a peça processada nas condições ensaiadas se aproxima dos requisitos exigidos pela certificação.

Pode-se então afirmar que a moldagem de pré-impregnados numa sala limpa, aonde a humidade relativa exceda os 55% mas inferior a 70% não interfere com a qualidade da peça final. De outra maneira, a humidade relativa da sala de limpa não é um factor significativo na qualidade da resistência mecânica das peças fabricadas.

4.6.3 Contagem de partículas

O teste mais importante para assegurar se uma sala limpa está a trabalhar correctamente é a contagem das partículas transportadas por via aérea. As verificações apropriadas da contaminação são realizadas numa base rotineira para garantir de que a sala limpa esteja mantida abaixo de níveis específicos de contaminação. Segundo a especificação *ASTM E2352*, as contagens de partícula devem ser realizadas pelo menos semanalmente em instalações da classe 8.5. [2]

4.6.3.1 Contadores de partículas em suspensão aérea

Um contador de partículas é uma ferramenta essencial para o teste de salas limpas em funcionamento. A Figura 33 mostra o contador de partículas usado na sala limpa dos compósitos OGMA, SA. O modelo deste contador, mede tamanhos de partículas entre 0,3 e 10 μm com uma amostra de ar de 28 l/min. Alguns modelos de elevada sensibilidade podem contar até 0,1 μm , mas com um volume de amostragem de ar menor.



Figura 33 – Contador de partículas da OGMA, SA: *Pacific Scientific Instruments Met One 3313*.

4.6.3.2 Contagem de partículas em estados de ocupação diferentes

A contaminação transportada por via aérea numa sala limpa pode ser medida em três estados de ocupação. Estes são definidos na norma *ISO 14664-1* como [10]:

- **Como construído:** completa e pronta para a operação, com todos os serviços disponíveis e funcionais, mas sem equipamento ou pessoal na sala;
- **Em repouso:** completa, com todos os serviços em funcionamento, com equipamento instalado e operacional mas sem pessoal a trabalhar na sala;
- **Operacional:** em funcionamento normal, com todo o tipo de serviços e com o equipamento e, se aplicável, o pessoal presente e executando as suas funções na sala.

A condição "*operacional*" é a condição mais relevante a ser medida, porque reflecte a contaminação real quando a sala limpa está em funcionamento. Nesta circunstância é igualmente plausível que resulte na maior concentração de partículas.

4.6.3.3 Medição das concentrações de partículas

A classe de uma sala limpa é definida por um valor de concentração de partículas transportadas por via aérea, com uma dimensão ou gama de dimensões especificada, o qual não deverá ser excedido num estado de ocupação determinado. Tais limites de classe são calculados por meio da Equação 2 desta tese.

$$C_n = 10^N \times \left[\frac{0,1}{D} \right]^{2,08} \quad \text{Equação 2}$$

Aqui, C_n representa a concentração máxima permitida (em partículas/m³ de ar) de partículas transportadas por via aérea que sejam iguais ou maiores do que o tamanho de partícula considerado; C_n deverá ser arredondado ao número inteiro mais próximo. N é o número de classe ISO, que não excederá o valor de 9. Os números de classe intermédios ISO, N , podem ser especificados, com o menor incremento permitido de 0,1. D corresponde ao tamanho de partícula considerado em µm. Por último, 0,1 é uma constante com uma dimensão em µm.

Alguns limites de classe típicos para várias dimensões de partículas são dados na Tabela 12.

Tabela 12 – Classes e concentração de partículas por tamanho de partícula.

Limites de concentração máxima para partículas iguais ou maiores que o tamanho de partícula abaixo indicado (partículas/m³ de ar)					
ISO	≥0,3 µm	≥0,5 µm	≥1 µm	≥3 µm	≥5 µm
Classe 8	-	3 520 000	832 000	85 000	29 000
Classe 8,5	-	11 100 000	2 630 000	268 000	93 000
Classe 9	-	35 200 000	8 320 000	846 000	293 000

NOTA: A norma ISO 14644-1 não inclui a classe 8.5, por isso, os valores apresentados são calculados a partir da equação 2.

Para classificar a sala limpa, é necessário analisar várias amostras de ar para ter a confiança de que a concentração de partículas transportadas por via aérea na sala está dentro dos limites definidos pelas normas. O número de pontos de amostragem deve reflectir o tamanho da sala e o seu estado de limpeza. Quanto maior a sala limpa, mais posições de amostragem têm de ser analisadas. A amostra de ar deve igualmente ter um volume suficientemente elevado para garantir a fiabilidade dos resultados; esse volume deverá sempre ser maior que 2 litros. ^[9]

Os métodos para selecção do número de posições de amostragem e determinação do volume de ar mínimo são definidos na norma *ISO 14644-1* e explicados de seguida. Os critérios de aceitação que devem existir para que uma sala limpa adquira uma classificação dada são fornecidos na norma *ISO 14644-1* e descritos abaixo.

4.6.3.3.1 Número de posições para amostra

A norma *ISO 14644-1* fornece uma fórmula para calcular o número mínimo de amostras:

$$N_L = \sqrt{A} \quad \text{Equação 3}$$

Nesta equação, N_L é o número mínimo de posições da amostragem, arredondado ao número inteiro mais próximo, sendo A a área da sala limpa, expressa em m².

A norma ISO exige que a amostragem seja distribuída uniformemente ao longo da sala limpa e executada durante o estado operacional da sala limpa.

4.6.3.3.2 Volume de amostragem

É necessário determinar o volume mínimo de ar a ser medido em cada posição. Como existem poucas partículas em salas limpas, é exigido um volume de amostra maior para que os resultados sejam fiáveis. A norma *ISO 14644-1* exige que o volume de ar seja suficiente para contar 20 partículas do maior tamanho da classe que está sendo considerada.

A seguinte equação é usada para calcular o volume mínimo:

$$V = \frac{20}{C} \times 1000 \quad \text{Equação 4}$$

Sendo **V** o volume mínimo de amostragem por posição, expresso em litros, **C** o limite de classe (número de partículas/m³) para o maior tamanho de partícula na classe em consideração; **20** representa o número mínimo de partículas que deveriam ser contadas se a concentração das mesmas se situasse no limite da classe.

Umas ou várias amostragens têm de ser feitas em cada posição. O volume de amostragem por posição deve ser de pelo menos 2 litros e o tempo mínimo de amostragem deve ser de pelo menos 1 minuto.^[10]

4.6.3.3.3 Critérios de aceitação

A norma *ISO 14644-1* considera que uma sala limpa atinge a classe requerida quando:

1. sendo o número total de posições de amostragem igual ou superior a 10, a concentração média de partículas em cada uma das posições fica abaixo do limite da classe;
2. sendo o número total de posições de amostra menor que 10, o intervalo de confiança de 95% das concentrações de partículas está abaixo do limite de classe.

4.6.3.4 Aplicação do método de teste à sala limpa da OGMA, SA

Para exemplificar a aplicação do método da norma *ISO 14644-1*, serão considerados os seguintes dados:

“A sala limpa ocupa 805 m² de área. Deve cumprir os requisitos da classe ISO 8.5 na condição operacional para um tamanho de partícula $\geq 3 \mu\text{m}$.”

Os cálculos correspondentes são os que seguidamente se apresentam.

4.6.3.4.1 Número de posições

A área da sala limpa mede 805m². De acordo com a Equação 3, o número de posições de amostragem deverá ser igual a:

$$N_L = \sqrt{805} = 28,37$$

O número mínimo de posições, arredondado até ao número inteiro mais próximo, será então de 28.

4.6.3.4.2 Volume de amostragem mínimo de ar

Os limites de contaminação para uma sala limpa classe ISO 8.5 num determinado tamanho de partícula têm de ser calculados a partir da Equação 2 e são indicados na Tabela 12.

Da aplicação da Equação 4 resulta:

$$\text{Volume mínimo} = (20/93000) \times 1000 = 0,215 \text{ litros}$$

Usando o contador de partículas da Figura 33, com um volume de amostragem pré-definido de 28,28 L/min, e atendendo a que a norma ISO 14644-1 exige um tempo mínimo de amostragem de 1 minuto, conclui-se que o volume de cada amostragem – 28,28 litros – será superior ao exigido pela especificação.

4.6.3.4.3 Resultados da amostragem

Os limites devem estar de acordo com os valores apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 – Número máximo de partículas por litro na sala limpa

NORMA	Limites de concentração máxima para partículas iguais ou maiores que o tamanho de partícula abaixo indicado (partículas/m ³ de ar)					CONTROLO
	>0,5 µm	>1 µm	>3 µm	>5 µm	>10 µm	
ISO 8.5 ^[10]	11 100 000	2 630 000	268 000	93 000	21 900	Semanal
EMBRAER ^[15]	–	–	–	–	10 700	–
AGUSTA ^[16]	–	–	350 000	–	–	Semanal

A medição do número máximo de partículas na sala limpa tem de ser realizada semanalmente. O registo semanal dos valores obtidos deve ser efectuado no impresso criado para esse efeito, OGMA3206 (ANEXO 9).

Antes da regulamentação deste procedimento de medida, os responsáveis da sala executavam a medição relativamente a 9 pontos ao longo da sala. Tal amostragem não assegurava a fiabilidade dos resultados, conforme se pode verificar mediante a comparação de resultados que se apresenta na Figura 34.

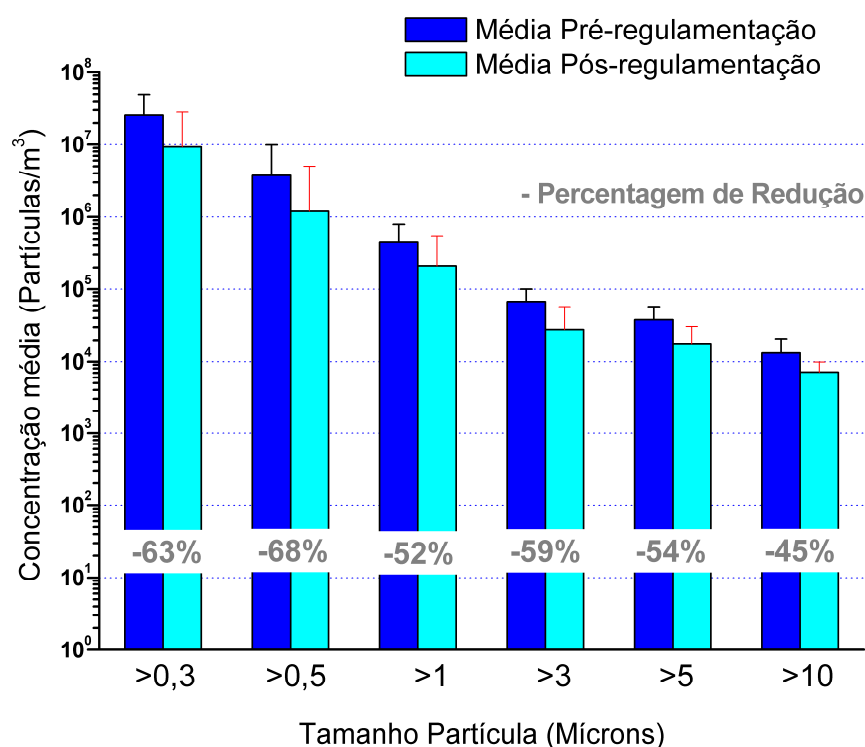


Figura 34 – Gráfico comparativo das concentrações médias antes e após a regulamentação.

Tendo em conta que os valores apresentados na Figura 34 para as amostras pré-regulamentação correspondem ao intervalo de confiança a 95% dos 9 locais de amostragem anteriormente utilizados (os valores referem-se a Maio de 2007, quando as medições eram realizadas numa base ocasional – ver ANEXO 2), verifica-se que nesse período a sala limpa se encontrava fora dos parâmetros de conformidade do cliente *Embraer* (a média apresentava 13125 partículas/m³ de tamanho superior a 10 µm); após a regulamentação dos procedimentos de limpeza (ANEXO 3) a mesma passou a estar conforme com todos os requisitos (7175 partículas/m³ nem mesmo o máximo apresentado no período, 9800 partículas/m³, supera o critério da *Embraer*).

Os resultados obtidos reflectem que os níveis de contaminação existentes na sala limpa são compatíveis com uma sala limpa classe *ISO 8.5* e com o requisito específico da *Embraer* para partículas maiores que 10 µm (ver Tabela 14).

Tabela 14 – Comparação de concentrações obtidas com os limites da *ISO 8.5* (partículas/m³ de ar)

Tamanho partícula	≥0,5 µm	≥1 µm	≥3 µm	≥5 µm	≥10 µm
ISO 8.5	11 100 000	2 630 000	268 000	93 000	10 700
OGMA, SA	1 192 000	211 000	28 000	17 000	7 175

Comparando os valores médios desta tabela com as concentrações da classe ISO 8, apresentados na Tabela 12, verifica-se que se poderia assimilar a sala limpa da OGMA, SA a uma sala limpa da classe ISO 8 de acordo com os níveis de concentração de partículas medidos e com a periodicidade de amostragem exigidas pela classe ISO 8.

4.7 Limpeza da sala limpa

Milhões de euros, assim como anos de esforço, são investidos no projecto e construção de uma sala limpa, mas o mesmo não acontece na manutenção da sua descontaminação.

Não sendo transmitidas grandes quantidades de partículas através do ar, e usando os operadores a bata como vestuário específico para a sala limpa como modo de impedir a dispersão da contaminação, poderia eventualmente questionar-se a necessidade de proceder à limpeza da sala.

Na realidade, como foi discutido anteriormente, o vestuário da sala limpa não impede por completo a dispersão de contaminantes e, após desgaste do vestuário, uma pessoa pode dispersar mais de 100.000 partículas superiores a $0,5\ \mu\text{m}$ e mais de 10 000 partículas com mais de $5\ \mu\text{m}$. Se a maior parte das partículas de maiores dimensões assenta facilmente, por acção da gravidade, em superfícies horizontais, as de menores dimensões são transportadas pelo fluxo de ar ou depositadas ao longo das superfícies da sala. ^[9]

Desta forma, as superfícies de uma sala limpa ficam contaminadas e por isso têm de ser limpas. Se não o são, a contaminação será transmitida ao produto quando este entra em contacto com estas superfícies, podendo igualmente ser transferida pelos operadores que tocam na superfície e de seguida no produto.

A sala limpa pode parecer estar limpa, mas pode, de acordo com os parâmetros de exigência da sua classe, estar muito contaminada. O olho humano é incapaz de identificar uma partícula inferior a $50\ \mu\text{m}$; as partículas pequenas apenas serão detectadas, eventualmente, quando se acumulam e aglomeram. Quando tal acontece, uma sala limpa está longe de possuir uma limpeza aceitável.

4.7.1 Métodos de limpeza e a física de limpeza de superfícies

A principal força que fixa as partículas às superfícies da sala limpa é a força de London - Van der Waals, devida à polarização das moléculas. As forças electrostáticas podem igualmente atrair partículas à superfície. A importância das forças electrostáticas variará entre salas limpas e depende do tipo de materiais usados no seu interior.

Os métodos vulgarmente usados na limpeza de uma sala limpa, são:

- Aspiração (húmida ou seca);
- Lavagem húmida (esfregona ou mopa);
- Adesão (com um rolo adesivo).

A eficiência destes métodos de limpeza depende da superfície a ser limpa. Se o revestimento da superfície é rugoso ou áspero então é mais difícil remover as partículas situadas dentro desses defeitos de superfície. Por essa razão, torna-se necessário que as superfícies internas numa sala limpa sejam lisas.

4.7.1.1 Aspiração

Há dois tipos de aspiração aplicados na limpeza de salas limpas: seca e húmida. Aspirar a seco depende de um fluxo de ar direccionado para o bocal de vácuo, que supera as forças da adesão das partículas, removendo-as da superfície. Contudo, o vácuo não é suficiente para remover as partículas de pequenas dimensões, como ilustrado no gráfico da Figura 35, que demonstra a eficiência da aspiração a seco em diferentes tamanhos de partículas de areia numa superfície de vidro.

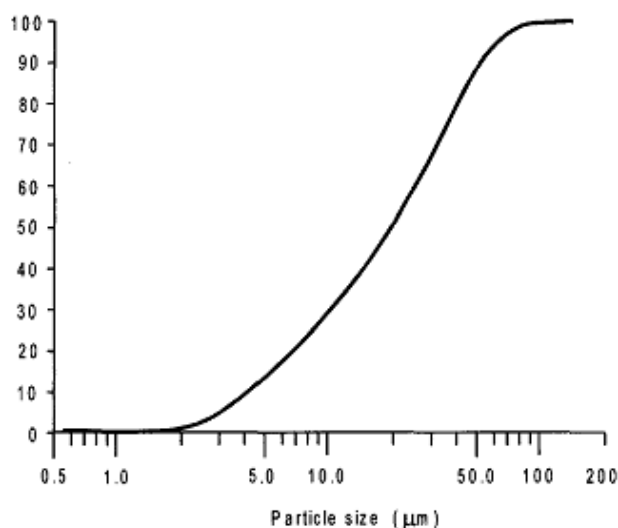


Figura 35 – Eficiência da aspiração a seco. ^[9]

Da análise desse gráfico se conclui que a maioria das partículas superiores a 100 μm são aspiradas, mas as partículas inferiores não são removidas eficazmente: abaixo de 10 μm , por exemplo, somente ~25% das partículas são removidas. Este gráfico realça que a maioria das partículas depositadas numa superfície não é removida pela aspiração a seco.

A água e os solventes têm uma viscosidade muito mais elevada do que o ar, de modo que as forças de arrasto exercidas por líquidos numa partícula da superfície são bastante superiores. Por essa razão, caso seja usado um sistema de aspiração por via húmida, as forças de arrasto adicionais aumentarão substancialmente a eficiência da aspiração.

A aspiração a seco constitui um método comum de limpeza, em virtude de ser relativamente barato e por não ser necessário qualquer líquido de limpeza, i.e., não ocorrer a introdução de nenhum contaminante na sala limpa. Contudo, o ar de exaustão não filtrado não deve passar para a sala limpa. Isto é conseguido fazendo passar o ar de exaustão do aspirador por um filtro de partículas de elevada eficiência de filtração.

Um sistema de aspiração húmida ou por lavagem é mais eficiente do que um sistema de aspiração a seco por causa das forças de arrasto adicionais do líquido aplicado. É igualmente mais eficiente do que o método da lavagem, porque há menos líquido deixado a secar no pavimento, o que significa que o pavimento secará mais rapidamente.

4.7.1.2 Lavagem

Através da lavagem, com recurso a mopas ou esfregonas, podem limpar-se eficientemente as superfícies da sala limpa. O líquido usado permite quebrar algumas das ligações da partícula contaminante à superfície em que se encontra depositada, fazendo-a flutuar no líquido. Esta acção será facilitada mediante a adição de um agente surfactante ao líquido de limpeza; trata-se de um composto caracterizado pela capacidade de alterar as propriedades superficiais e interfaciais de um líquido, aumentando a sua afinidade para a superfície, e potenciando desse modo o seu papel na quebra das ligações entre esta e as partículas contaminantes.

Contudo, muitas partículas continuam na superfície, e as fibras da mopa ou da esfregona são necessárias para empurrar e remover essas partículas. As partículas removidas ficam retidas na mopa ou esfregona. Uma esfregona húmida é mais eficiente do que a mopa seca, porque as forças de arrasto da solução aquosa ou do solvente são mais elevadas.

As salas limpas – e a sala limpa da OGMA, SA não foge à regra – são frequentemente limpas com recurso a esfregona e recipiente para o líquido de

lavagem, As esfregonas de fibras têxteis não devem ser usadas por contribuírem para a contaminação. As esfregonas de esponja ou de fibras sintéticas, quando novas, constituem fontes menos importantes de contaminação, mas a sua eficiência degrada-se com o uso.

Uma sala limpa pode ser limpa por meio de esfregona e de um recipiente que contém a água com detergente. Contudo, o nível de limpeza conseguido por este sistema pode não ser suficiente para a classe *ISO 8.5*, porque a contaminação removida do pavimento é enxaguada no recipiente e reaplicada ao pavimento. A experiência doméstica diz-nos que, após algumas repetições da manobra, a solução detergente fica contaminada, deixando o pavimento de ser limpo correctamente.

A renovação contínua da solução do recipiente supera esse problema, mas uma melhoria substancial pode ser obtida por meio de um sistema de 3 recipientes, ver Figura 36.

4.7.1.3 Sistemas de aspiração a seco ou húmida

Aspiração a seco é um método popular na limpeza porque é relativamente barato e porque não é necessário nenhum líquido de limpeza, logo nenhum contaminante é introduzido na sala limpa. Contudo, o ar de exaustão não filtrado não deve passar para a sala limpa. Isto é conseguido fazendo passar o ar de exaustão do aspirador por um filtro de partículas de elevada eficiência de filtragem.

Um sistema de aspiração húmida ou por lavagem é mais eficiente do que um sistema de aspiração a seco por causa das forças de arrasto adicionais do líquido aplicado. É igualmente mais eficiente do que o método da lavagem, porque há menos líquido deixado a secar no pavimento, o que significa que o pavimento secará mais rapidamente.

4.7.1.4 Sistemas de lavagem

As salas limpas são limpas frequentemente com recurso a esfregona e recipiente para o líquido de lavagem, a sala limpa da *OGMA, SA* não foge à regra. As esfregonas de fibras têxteis não devem ser usadas por contribuírem para a

contaminação. O uso de esfregonas de esponja ou de fibras sintéticas contaminam menos quando novas, mas a sua eficiência degrada-se com o uso.

Uma sala limpa pode ser limpa por meio de esfregona e de um recipiente que contém a água com detergente. Contudo, o nível de limpeza conseguido por este sistema pode não ser suficiente para a classe *ISO 8.5*, porque a contaminação removida do pavimento é enxaguada no recipiente e reaplicada ao pavimento. A experiência doméstica diz-nos que não tarda muitos enxugamentos a solução detergente fica contaminada e o pavimento não é limpo correctamente.

A mudança contínua da solução do recipiente supera esse problema, mas uma melhoria substancial pode ser obtida por meio de um sistema de 3 recipientes, ver Figura 36.



Figura 36 – Sistema de lavagem por 3 recipientes. ^[10]

A Figura 37 mostra um diagrama de um método sugerido para sistema de 3 recipientes. Como pode ser visto, no início a esfregona é mergulhada na solução activa. A esfregona pode ser espremida para libertar o excesso de líquido. O líquido é então espalhado no pavimento e esfregado o pavimento (fase 1). A esfregona é espremida da solução contaminada contida na esfregona (fase 2), mergulhada e enxaguada em água potável (fase 3). Espremida novamente para libertar a água em excesso (fase 4), mergulhado na solução activa (fase 5) e está então pronta para realizar outra vez o mesmo ciclo (fase 1).

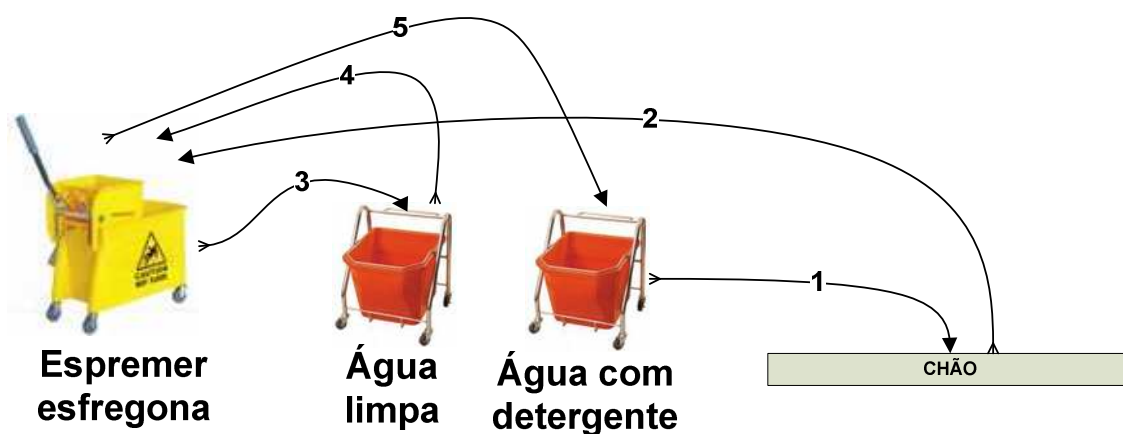


Figura 37 – Diagrama de uso do sistema de lavagem por 3 recipientes

4.7.1.5 Sistemas de esfrega automática de pavimentos

Máquinas de esfregar pavimentos que usam escovas giratórias estão disponíveis para o uso em salas limpas. A máquina tem uma cortina em torno da parte externa das escovas e um sistema de vácuo que remove as partículas produzidas por escovar o pavimento. Um filtro de elevada eficiência filtra as partículas aspiradas.



Figura 38 – Equipamento automático da empresa de limpeza subcontratada da OGMA, SA.

4.7.2 Líquidos de limpeza

A solução ideal de limpeza de uma sala limpa será aquela que tenha as seguintes características:

- Não tóxica;
- Não inflamável;
- Secagem rápida;
- Não prejudique as superfícies da sala limpa;
- Não deixe nenhuma contaminação que seja prejudicial ao produto;
- Seja eficiente na remoção da contaminação indesejável;
- Apresente um preço razoável;

Não existe nenhum produto que satisfaça todos os requisitos acima mencionados. Por exemplo, a água ultra-limpa satisfaz muitas das propriedades listadas mas pode corroer determinadas superfícies e, sem a adição de um surfactante, é relativamente ineficaz na limpeza.

Alguns solventes orgânicos estão perto do ideal, mas podem ser inflamáveis, tóxicos e dispendiosos.

A limpeza é realizada frequentemente por água destilada ou detergentes específicos para salas limpas. Os produtos de limpeza que são quimicamente menos reactivos são os melhores.

4.7.3 Como deve a sala limpa ser limpa?

Os métodos e os procedimentos de limpeza são específicos e seguidos rotineiramente para manter as superfícies da sala limpa a níveis aceitáveis de limpeza. Os processos de manufatura, a presença e actividade dos operadores, bem como outros factores, todos podem fazer com que a contaminação seja gerada e dispersada pela sala limpa. Consequentemente, todas as superfícies devem ser limpas adequadamente para impedir que seja comprometido o processo de manufatura.

A limpeza deve ser evitada durante operações de fabricação, devendo ser realizada antes da entrada do primeiro turno de trabalho ou durante o período de almoço.

Os responsáveis pela limpeza recebem formação específica, na limpeza de salas limpas, ministrada pela sua empresa. Aos operadores da sala limpa, com formação temática sobre salas limpas, é exigido que procedam à limpeza das áreas

críticas de trabalho, por exemplo, moldes, durante a entrada de materiais e bancadas de trabalho.

O tecto, difusores, dispositivos de iluminação e outros dispositivos eléctricos acima de áreas de trabalho não devem ser limpos com a sala limpa no estado operacional, devendo esperar-se pelo estado “em repouso”. A limpeza deve iniciar-se com limpeza a vácuo seguido de limpeza por técnicas de lavagem.

Os resíduos de materiais usados e outros desperdícios gerados dentro da sala limpa devem ser removidos o mais cedo possível. A remoção regular do lixo e desperdícios é essencial e deve ser devidamente documentada.

Os materiais armazenados podem tornar-se contaminados ou ineficazes se esse armazenamento ocorrer de forma imprópria durante o período de espera para serem aplicados. Os métodos de armazenamento apropriados e respectivo controlo são críticos para preservar a sua eficácia. Tais materiais devem ser armazenados num ambiente que os proteja da degradação e da contaminação, assentes acima do nível do piso onde existe maior concentração de partículas. A acumulação de materiais não utilizados na sala de limpa apresenta um risco de contaminação e por isto deve ser evitado.

A garantia de uma limpeza eficaz exige um registo documentado, que deve envolver todas as tarefas do plano de limpeza. As observações efectuadas, assim como as datas, as horas e os nomes dos responsáveis que executam cada tarefa de limpeza, devem ser registados. Na sua programação, as operações de limpeza devem ser previstas com frequências que assegurem que os níveis de limpeza específicos sejam mantidos. A frequência e os métodos da limpeza variam com a classe de limpeza da sala de limpeza^[9].

4.7.3.1 Métodos de limpeza

- O processo de limpeza inicia-se removendo as partículas de maior dimensão por aspiração a seco. Assim, os resíduos dos tecidos, bem como outros agentes de contaminação, são removidos, mas não partículas pequenas. Se a aspiração a seco for incapaz de aspirar partículas grandes, estas deverão ser aglomeradas através de uma mopa humedecida e serem posteriormente removidas;
- A limpeza começa sempre nas zonas mais afastadas da saída. Este método

assegura a minimização da re-contaminação das superfícies limpas;

- Deve ser prestada uma grande atenção à limpeza da água de lavagem, a qual deve ser controlada mediante a observação da sua coloração;
- Deve passar-se várias vezes com a mopa ou esfregona. Uma sala limpa parecerá sempre limpa a olho nú e não é fácil assegurar que a superfície esteja limpa, a não ser através da repetição das passagens;
- Ao limpar os moldes e bancadas, o pano de limpeza húmido deve ser dobrado a cada passagem pelo molde, para que se limpe sempre com uma zona do pano limpa. Depois de todas as zonas do pano serem usadas deverá ser substituído.

4.7.3.2 Requisitos de limpeza, normas *ASTM* e *Embraer*

A especificação *ASTM E2352* aponta a norma *ASTM E2042* para os procedimentos e frequência de limpeza; o mesmo faz a especificação do cliente *Embraer* ^[15]. As tarefas e frequências de limpeza de cada uma delas estão combinadas na Tabela 15.

Após o levantamento dos locais comuns entre as especificações e a frequência de limpeza mais apertada para cada local, elaborou-se o modelo de registo da limpeza da sala limpa *OGMA mod. 3202* (ANEXO 10) onde se indicam os locais, frequências e métodos de limpeza das áreas críticas, prevendo-se igualmente um campo para a rubrica do executante da tarefa.

Este modelo foi elaborado de acordo com as especificações e transposto para as superfícies críticas da sala limpa da *OGMA, SA*, superfícies que podem interferir com o processo e a qualidade dos produtos. Essas áreas são:

Superfícies horizontais – Superfícies de elevada deposição de contaminação e próximas da área fulcral de processo de moldagem dos tecidos nos moldes. *[Por ex.: o piso e antecâmaras, as bancadas de trabalho e recipientes de resíduos.]*

Superfícies acima das áreas críticas – Estas superfícies são de difícil acesso mas devido ao seu posicionamento têm de ser limpas, no mínimo, uma vez por mês e quando a sala limpa está “*em repouso*”. *[Por ex.: focos de iluminação, condutas técnicas e de ventilação, equipamentos de monitorização e outros pontos de acumulação de pó.]*

Tabela 15 – Frequência, método e locais de limpeza segundo especificações requeridas

TAREFA	ASTM E2042 CLASSE ISO 8.5(*)	EMBRAER NE 07 – 002	
Limpeza de mesas ou bancadas de trabalho	Semanal	Diária Passar pano húmido em água e álcool	
Aspiração do piso	Diária	–	
Limpeza do piso	Semanal	Diária Passar com pano húmido em água	Semanal Lavar e aplicar acabamento protector
Limpeza de portas, paredes e colunas	Mensal	Portas	Semanal Sem usar detergentes ou similares
		Paredes até 2,20m de altura	Mensal Lavagem sem detergentes ou similares
Inspecção e eliminação de contaminação visível	Diária	–	
Esvaziamento de recipientes do lixo	Diário	Diário	
Limpeza da zona de mudança de vestuário/antecâmara	Diária	–	
Substituição / Inspecção de tapetes adesivos	Diária		
Lavagem de Paredes e tectos	Anual Passar com um tecido de polyester, água destilada ou pano húmido	Semestral Aspiração ou alternativamente passar com pano húmido. <u>Nota:</u> paredes acima de 2,20m	
Limpeza de filtros do sistema de ventilação	–	Quinzenal Substituição de filtros (1)	
Limpeza de equipamento		Semanal	Áreas internas Passar com um pano húmido até 2,20m de altura
			Áreas externas Aspiração de pó ou alternativamente passar com um pano húmido
Superfície superior dos compartimentos de refrigeração, cabines de pintura, prateleiras e caixas de electricidade		Mensal Limpeza por aspiração do pó ou em alternativa passagem com um pano húmido	
Lâmpadas, candeeiros, ar condicionado, condutas, tubos, entradas de ar e outros pontos de acumulação de pó			

(*) – A limpeza é sempre efectuada com água destilada ou álcool isopropil diluído e recomenda-se uma limpeza periódica com um detergente específico de câmaras limpas para remover resíduos.

(1) – Substituição de filtros quando for necessária e de acordo com os critérios da manutenção.

- Superfícies no perímetro da sala e tecto – Estas superfícies, por estarem afastadas das zonas críticas do processo, apenas requerem uma limpeza semestral. No caso específico do tecto, este é uma superfície muito complexa de limpar e requer muito tempo e disponibilidade de espaço para a sua completa limpeza. [Por ex.: portas, paredes e tecto.]

Coloca-se a questão de, no caso do piso, se preverem dois métodos de limpeza distintos e diferentes periodicidades. Tal sucede com o objectivo de distinguir entre a limpeza semanal mais rigorosa e a limpeza de manutenção. A limpeza rigorosa deverá ser, preferencialmente, efectuada na manhã de segunda-feira, previamente à entrada dos operadores do turno matinal, porque nesse período a sala limpa vem de um fim-de-semana do estado “*em repouso*”, o que permite um maior assentamento das partículas em suspensão no piso. É também nessa altura que a sala limpa está mais livre de moldes, sendo por isso mais fácil manobrar a máquina de lavagem do piso. Esta limpeza é realizada por um operador da empresa prestadora de serviços de limpeza, o qual, dotado de uma máquina de lavagem móvel (Figura 38), lava o piso da sala.

A limpeza diária, por outro lado, procede com um sistema de 3 recipientes, conforme descrito no capítulo 4.7.1.4, e realiza-se todos os dias úteis durante o período de almoço dos operadores da sala limpa.

5. CONCLUSÕES

Após a realização deste trabalho, que consistiu na regulamentação da sala limpa da secção dos compósitos da *OGMA, SA*, tendo em vista a sua certificação dentro da classe *ISO 8.5*, segundo a especificação *ASTM E2352*, pode concluir-se que o objectivo inicialmente traçado foi conseguido.

Iniciou-se o trabalho por uma análise de risco para identificar os perigos significativos associados à contaminação da sala limpa. Desta análise resultou a identificação da qualidade do ar e dos operadores como constituindo as mais significativas fontes de contaminação dos produtos.

Esta técnica de análise representou um enorme desafio porque não tinha qualquer experiência com esta técnica de análise. A inexperiência foi ultrapassada pela pesquisa de desenvolvimentos práticos da técnica noutras áreas científicas de forma a adequar ao caso desta sala limpa.

Para minorar a contaminação oriunda do ar, elaborou-se um plano para limpeza da sala e rectificaram-se alguns comportamentos dos operadores, por exemplo, andarem com a bata vestida fora da sala limpa, o deslocamento dos armários de armazenamento da bata para dentro da antecâmara, implementação do plano de limpeza e a introdução de procedimentos de limpeza à entrada de materiais na sala limpa. Estas medidas resultaram na redução significativa, superior a 45% para cada tamanho de partículas, da contaminação do ar. Desta forma foi possível ultrapassar o estado de não conformidade para o tamanho de partículas superior a 10 μm , segundo o critério do cliente *Embraer*, de tal modo que, através dos valores de contaminação obtidos, se poderia pôr em consideração a implementação nas instalações em análise de uma sala limpa de classe *ISO 8*.

No que concerne aos operadores, o plano de formação da *OGMA* para a secção dos compósitos encontra-se muito atrasado, fruto do volume de trabalho existente, o qual provoca a indisponibilidade dos mesmos para receberem a correspondente formação na área. Bem como toda a burocracia inerente à obtenção dos subsídios governamentais. Assim, na altura em que se escreve esta dissertação, a formação temática referente aos “*Procedimentos de Sala Limpa*” ainda não foi ministrada. Consequentemente, houve que adoptar uma abordagem distinta, rectificando os procedimentos incorrectos à medida que eram identificados e

instruindo o operador que realizou esses mesmos procedimentos incorrectos quanto ao erro que cometeu e ao modo como deve ser executada a mesma tarefa sem incorrer no mesmo erro. De referir que embora a formação não tenha sido ministrada, a mesma ficou preparada, mediante a elaboração de um diaporama em suporte *PowerPoint*, de um manual teórico e do correspondente questionário para avaliação dos formandos.

As condições de operacionalidade ficaram definidas de acordo as especificações dos clientes e a solicitada pelos inspectores NADCAP. Durante esta fase, verificou-se que, com a UTA existente e instalada para a sala, o parâmetro de humidade relativa da sala limpa não podia ser controlado de modo a respeitar os limites máximos impostos pelas normas dos clientes, Como tal, verificou-se o impacto desse parâmetro, além dos limites especificados, sobre as propriedades mecânicas do material compósito de aplicação predominante no fabrico de produtos da sala limpa. Os resultados obtidos foram satisfatórios do ponto de vista do desempenho da peça, avaliado de acordo com os critérios do cliente das peças fabricadas com esse material, pelo que se pode afirmar que o impacto gerado pela incapacidade da UTA não é significativo.

Em suma, o estágio foi bastante produtivo porque aprofundou-se o conhecimento na área do fabrico de peças em compósito e principalmente na área dos processos inerentes a uma sala limpa. A empresa, porque aproveitou o facto de ter a regulamentação da sala limpa para a classe requerida completa e sob a forma de procedimentos do sistema normativo OGMA, ONS. Ficou, assim, com o problema resolvido da não conformidade detectada durante a auditoria inicial executada pelos inspectores *NADCAP*.

6. REFERÊNCIAS

- [1] - <http://www.pri-network.org/Nadcap/About-Nadcap.id.40.htm>, consultado em 25 de Setembro de 2008.
- [2] - ASTM E2352 Aerospace cleanrooms and associated controlled environments – Cleanroom Operations, ASTM, 2004.
- [3] - ONS-00002 - Elaboração e controlo de documentos, OGMA, 2006.
- [4] - www.eyeofscience.com/eos2/english/gallery/templates/galeriepics/medizin/haut1.jpg, consultado em 5 de Maio de 2008.
- [5] - <http://dentistry.umkc.edu/microscopy/ESEMPICT/cotst.JPG>, consultado em 2 de Junho de 2008.
- [6] - <http://sbio.uct.ac.za/Webemu/gallery/nylon-m.jpg>, consultado em 7 de Junho de 2008.
- [7] - http://news.bbc.co.uk/media/images/39999000/jpg/_39999578_sneeze.jpg, consultado em 12 de Julho de 2008.
- [8] - <http://www.alltex.com/images/clean.jpg>, consultado em 8 de Agosto de 2008.
- [9] - Cleanroom Design, 2nd edition, W. Whyte, JOHN WILEY & SONS, 1999.
- [10] - ISO 14644 Part I, International Standard Organization, 1999.
- [11] - www.perfexstore.com/perfex/TruCleanProxl_medium.jpg, consultado em 25 de Agosto de 2008.
- [12] - ONS-000272 - Formação e qualificação de operadores da área de compósitos, OGMA, 2007.
- [13] - ONS-000013 - Formação em contexto real de trabalho, OGMA, 2006.
- [14] - www.interportas.net/catalog/images/TS-1000-C.jpg, consultado em 15 de Setembro de 2008.
- [15] - EMBRAER NE 07-002 – Cleanroom: environment requirements and control, Embraer, 2004.
- [16] - AGUSTA STA110K0014 rev. E – Requisiti per la fabbricazione di componenti di struttura mediante impiego di preimpregnati con resina epossidica ad alta temperatura di polimerizzazione, Agusta, 2003.
- [17] - LM AERO STP61-226 rev. E – Fabrication of epoxy composites, Lockheed Martin, 2004.
- [18] - NADCAP AC7118 rev. A – Composite audit handbook, Nadcap, 2007.
- [19] - IEST-RP-CCO05 – Cleanroom gloves and Jinger cots, IEST, 2006.

ANEXOS

ANEXO 1 - Formação para a área dos compósitos da OGMA, SA. ^[11]

	ÁREAS	Corte de Tecidos + CNC	Construção de Peças Layup	Polimerização Autoclave Prensa	Desmoldagem Preparação de Moldes	Recorte e Furação		Montagens Estruturais Colagem Rebitagem	Reparação
REQUISITOS DE FORMAÇÃO						Manual	CNC		
PROCESSO COMPÓSITOS									
Curso Básico Compósitos		Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Operação de Corte Tecidos Equipamento CNC		Sim							
Técnicas de layup e Ensacamento em vácuo			Sim						
Operação de Autoclaves, Estufas e Pressas				Sim					
Desmoldagem e Preparação de Moldes					Sim				
Técnicas de Recorte e Furação Manual		Sim				Sim	Sim		
Técnicas de Recorte e Furação Equipamento CNC							Sim		
Técnicas de Montagem Estrutural Colagem e Rebitagem								Sim	
Procedimentos Sala Limpa		Sim	Sim	Sim	Sim				
Construção de Estruturas em Materiais Compósitos									Sim
Reparação de Estruturas em Material Compósito									Sim
Operação com Colagem de Adesivos									Sim
Sensibilização em DOE		Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Higiene e Segurança no Trabalho		Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA									
Desenho Técnico Básico		Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Tolerâncias e Ajustes						Sim	Sim	Sim	Sim
Tolerâncias Geométricas						Sim	Sim	Sim	Sim
Documentação Técnica Compósitos		Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Normas e Procedimentos de Reparação									Sim
SISTEMA DE INFORMAÇÃO									
Procedimentos de Imputação		Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Procedimentos SIGMA {Team Leaders}		Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Técnicas de Liderança {Team Leaders}		Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
PROCESSOS ORGANIZACIONAIS									
Sistema de Produção		Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Noções de Qualidade		Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

ANEXO 2 – Contagem de partículas antes da regulamentação.

TAMANHO (μm)	DATA DE CONTAGEM				MÉDIA	ERRO
	10-05-07	16-05-07	23-05-07	30-05-07		
0,3	49534	9379,3	25055,4	17323,6	25323	24211
0,5	9959,3	823,2	2118,3	2165,4	3767	6193
1	789,9	217,2	435,2	331,3	443	347
3	46	56,7	100,5	66,5	67	33
5	22,9	33,1	57,7	36,9	38	20
10	7,8	12,2	20,8	11,7	13	8

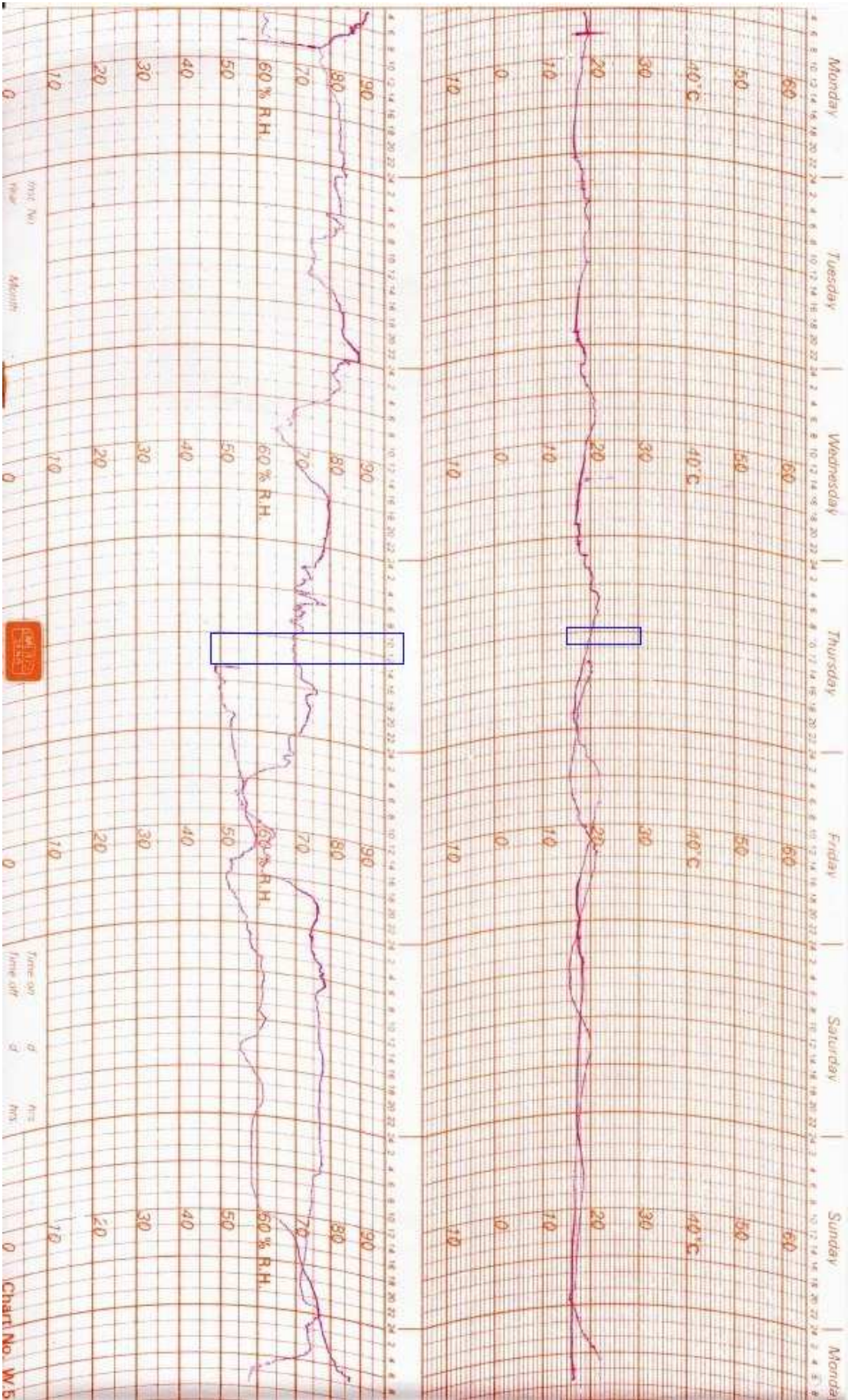
ANEXO 3 – Contagem de partículas após regulamentação.

TAMANHO (μm)	DATA DE CONTAGEM								MÉDIA	ERRO
	21-11-07	28-11-07	05-12-07	14-12-07	19-12-07	02-01-08	09-01-08	16-01-08		
0,3	8344,3	12843,5	28071,1	10145,2	5048,5	4471,7	3422,3	2153,8	9313	18759
0,5	643	1232,4	5022,6	867,5	385,5	521,5	301,5	565,3	1192	3830
1	155,6	290,9	549,9	193,6	93,3	99,4	113,9	189,5	211	339
3	29,5	57,5	46,6	22,2	10,4	11,8	18,5	26,3	28	30
5	14,8	30,6	21,8	16,8	8,8	9,4	16,8	20,1	17	13
10	4	8,5	6,9	7,9	5,4	5,7	9,2	9,8	7	3

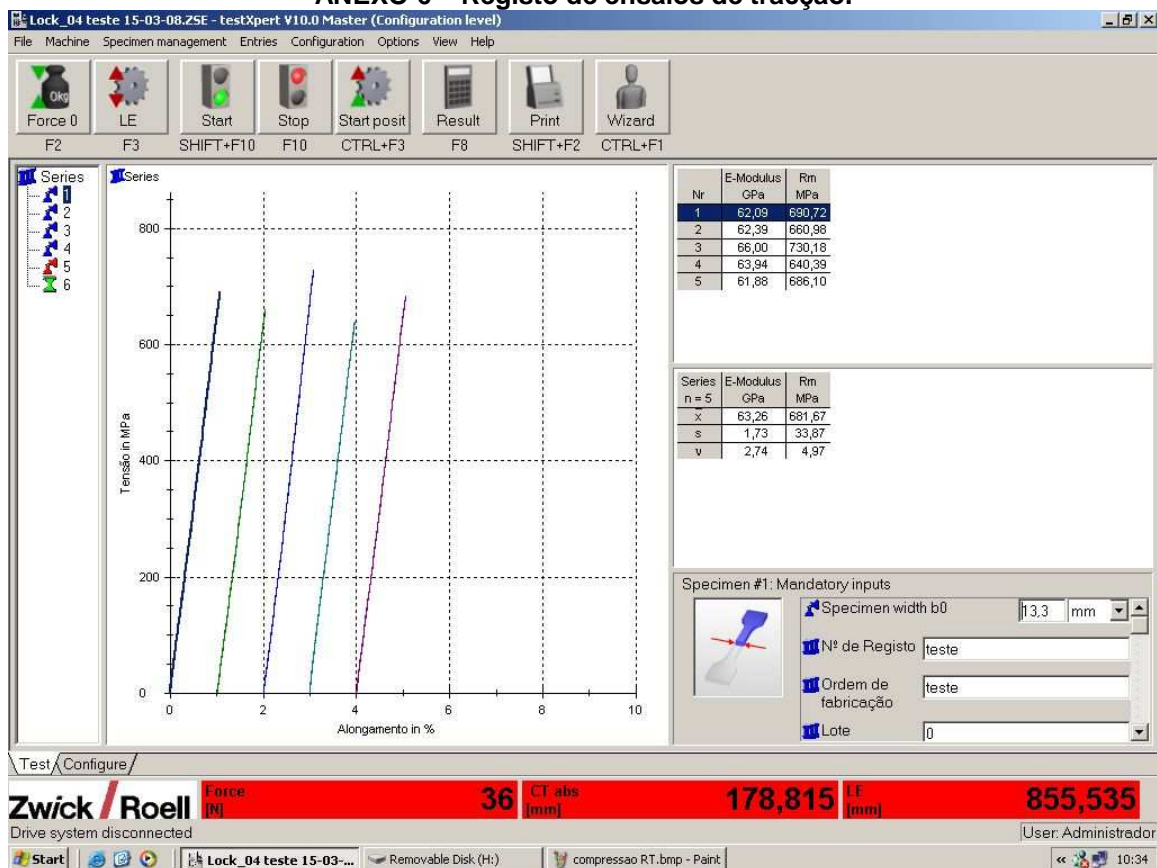
ANEXO 4 – Redução após regulamentação.

TAMANHO (μm)	CONTAGEM		REDUÇÃO
	ANTES	APÓS	
0,3	25323	9313	63%
0,5	3767	1192	68%
1	443	211	52%
3	67	28	59%
5	38	17	54%
10	13	7	45%

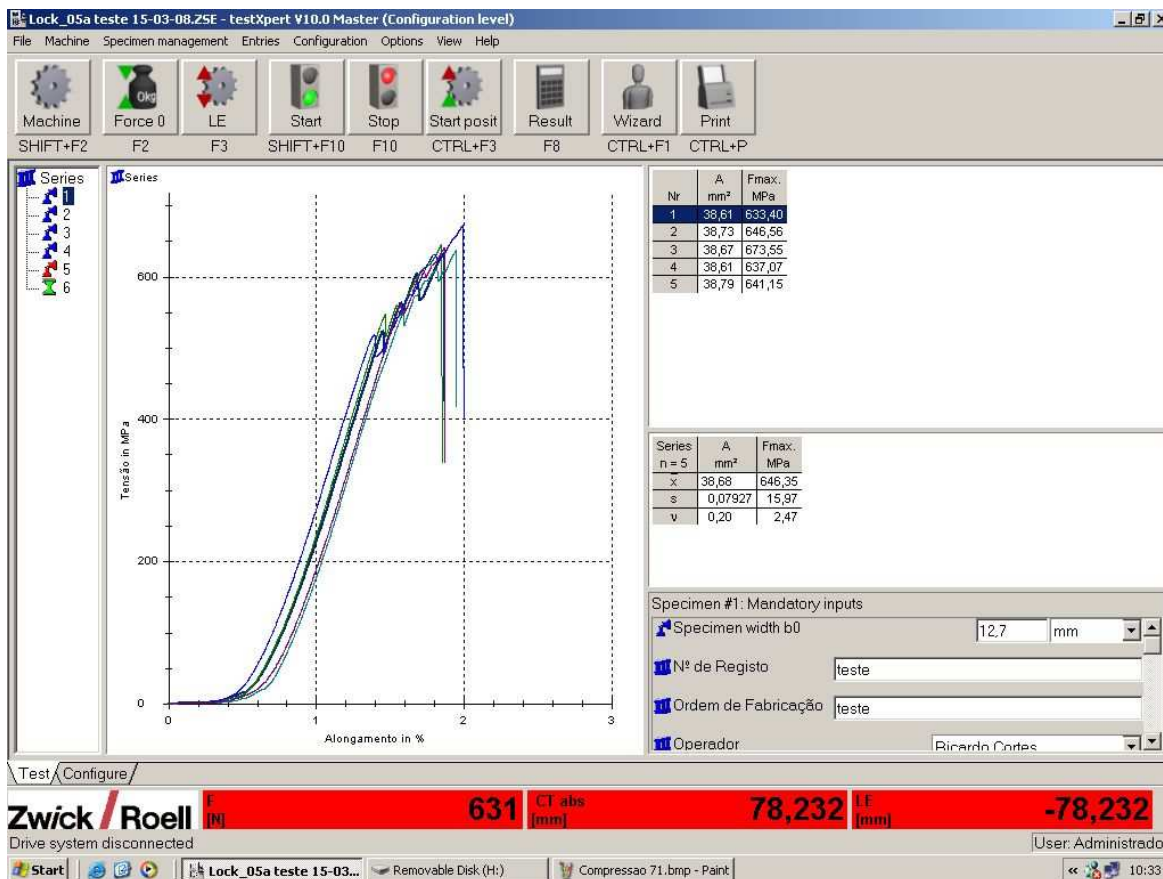
ANEXO 5 – Registro do termohigrógrafo.



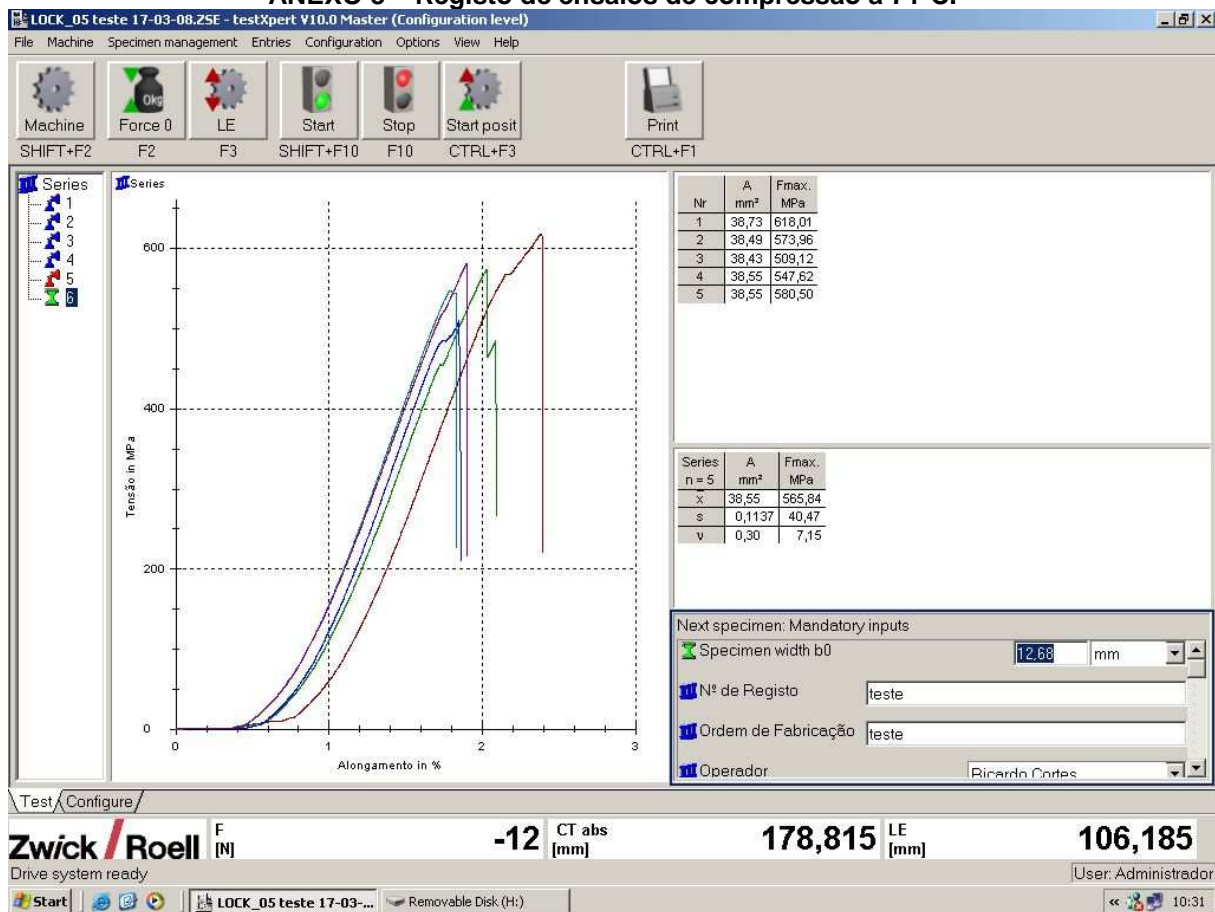
ANEXO 6 – Registo de ensaios de tracção.




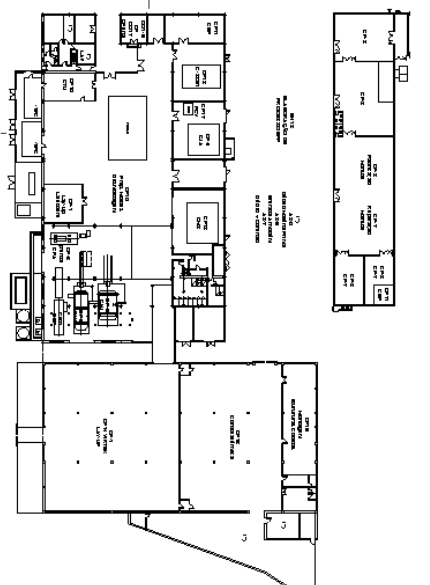
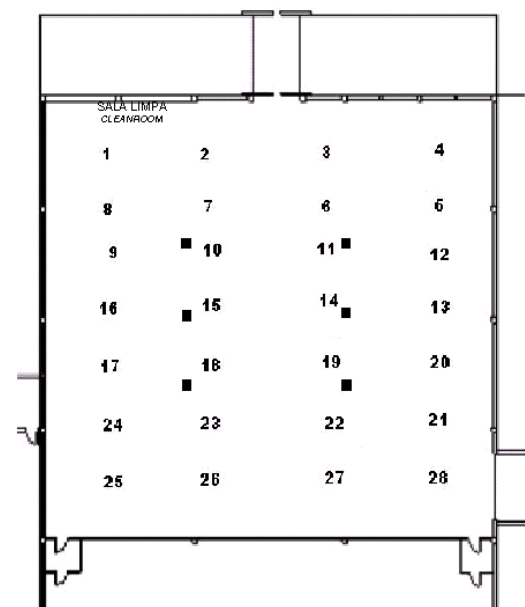
ANEXO 7 – Registo de ensaios de compressão à temperatura ambiente.



ANEXO 8 – Registo de ensaios de compressão a 71°C.



ANEXO 9 – Registo do controlo de partículas sólidas na sala limpa.

 <p>INDÚSTRIA AERONÁUTICA DE PORTUGAL S. A.</p>	<p>CONTROLO DE PARTÍCULAS SÓLIDAS NA SALA LIMPA (ÁREA COMPÓSITOS)</p> <p>SOLID PARTICLES INSPECTION IN THE CLEAN ROOM (COMPOSITE AREA)</p>		N.º de registo RECORD Nr.
			Data DATE
			HORA HOUR
EQUIPAMENTO UTILIZADO			
FABRICANTE MANUFACTURER	MODELO	NÚMERO DE SÉRIE SERIAL NUMBER	
DIMENSÃO DE PARTÍCULA MÍNIMA (µm) MINIMUM PARTICLE SIZE (µm)	MÉDIA DAS LEITURAS COM 3 CICLOS (NÚMERO DE PARTÍCULAS / LITRO) MEAN OF THE AVERAGES WITH 3 CYCLES (PARTICLES NUMBER / LITER)		
0,3			
0,5			
1,0			
3,0			
5,0			
10,0			
CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO ACCEPTANCE CRITERIA	<p>Partículas 3 µm mínimo < 268 / L (conforme ISO Classe 8.5) <i>Particles 3 µm minimum < 268 / L (in accordance with ISO Class 8.5)</i></p> <p>Partículas 10 µm mínimo < 10,7 / L (conforme NE 07-002) <i>Particles 10 µm minimum < 10,7 / L (in accordance with NE 07-002)</i></p>		
<p>PLANTA DA INSTALAÇÃO / FACILITIES LAYOUT</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>			
<p>OBSERVAÇÕES REMARKS</p> <p>– MEDIÇÃO DE 28 PONTOS EM CONFORMIDADE COM A NORMA ISO 14644 – 1, ONDE DESIGNA QUE O NÚMERO MÍNIMO DE MEDIÇÕES = \sqrt{A}, A = ÁREA = 805,5 m².</p> <p>– ANEXAR AS FOLHAS COM O REGISTO DAS MEDIÇÕES DO EQUIPAMENTO.</p>			
<p>SATISFAZ SATISFY</p> <input type="checkbox"/>		<p>ASSINATURA E DATA (ÁREA RSA / SEGURANÇA E AMBIENTE) SIGNATURE AND DATE (AREA RSA / SECURITY AND ENVIRONMENT)</p>	
<p>NÃO SATISFAZ NOT SATISFY</p> <input type="checkbox"/>			

OGMA Mod. 3206 – 1/07

ANEXO 10 – Registo de limpeza da sala limpa.

 <small>INDÚSTRIA AERONÁUTICA DE PORTUGAL, S.A.</small>	REGISTO DE LIMPEZA DA SALA LIMPA
---	----------------------------------

	Tarefas de limpeza	Mesas e bancadas de trabalho	Limpeza de piso	Esvaziar recipientes de resíduos e lixo	Lavagem de Piso
	Método	(1)	(1)	—	(2)
<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div>Mês: _____</div> <div>Ano: _____</div> </div>	1				<p>Periodicidade Semanal</p> <p>Dia _____ : _____</p> <p>Dia _____ : _____</p> <p>Dia _____ : _____</p> <p>Dia _____ : _____</p> <p>Métodos de limpeza:</p> <p>(1) Passagem com pano húmido em água;</p> <p>(2) Lavagem com água ou detergente específico para salas limpas;</p> <p>(3) Aspiração de pó;</p>
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				
	11				
	12				
	13				
	14				
	15				
	16				
	17				
	18				
	19				
	20				
	21				
	22				
	23				
	24				
	25				
	26				
	27				
	28				
	29				
	30				
	31				
Prateleiras, candeeiros, condutas, equipamentos e outros pontos de acumulação de pó <i>Métodos: (1) ou (3)</i>			Periodicidade Mensal Dia _____ : _____		
Lavagem de portas, paredes e tectos <i>Métodos: (1) ou (3)</i>			Periodicidade Semestral: Abril e Outubro Dia _____ : _____ Dia _____ : _____		

OBS:

